

VŠB - Technická universita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

**Návrh digitálního měřidla pro prokazování shody a
přenášení rozměru šířky kotouče a obruče
železničních kol**

**Proposal for a Digital Meter to Demonstrate the
Compliance and Transmission Size Wheels and Tires
the Width of Railway Wheels**

Student:

Bc. Michal Zeleňák

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Šárka Tichá, Ph.D.

Ostrava, 2009

PODĚKOVÁNÍ:

Rád bych tímto poděkoval Ing. Šárce Tiché Ph.D. a Ing. Janu Vavřinovi za odborné vedení, cenné rady, obětavost a trpělivost při řešení této práce.

Rovněž bych rád poděkoval pracovníkům firmy UNIMETRA spol. s.r.o. za spolupráci, a také za zajištění veškerých technických podmínek na základě kterých mohla být tato práce řešena.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....
Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- было́ сже́днано, že s VŠB-TUO, в případě́ за́яму з její́ strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- было́ сже́днано, že užít své dílo – diplomovou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

Blažičkova 686

Nové Město na Moravě 592 31

.....
Michal Zeleňák

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

ZELEŇÁK, M. Návrh digitálního měřidla pro prokazování shody a přenášení rozměrů šířky kotouče a obruče železničních kol. Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní, VŠB – Technická Universita Ostrava, 2009, 70 s, vedoucí: Tichá, Š.

Diplomová práce se zabývá návrhem digitálního měřidla pro prokazování shody a přenášení rozměrů šířky kotoučů na obruče složených železničních kol.

Praktická část práce se zaměřuje na konstrukční návrh měřidla. V úvodu návrhu jsou popsány možné varianty řešení měřidla z hlediska konstrukce a výroby. Ke zvolené variantě řešení měřidla je zhotovena výkresová dokumentace, včetně technologického postupu výroby a montáže měřidla. Součástí praktického řešení je ověření funkčnosti měřidla, provedení kalibrace, stanovení algoritmu nejistot a vypracování technických dodacích podmínek .

Na závěr je provedeno vyhodnocení výsledků a praktické zhodnocení práce

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

ZELEŇÁK, M. Proposal for a Digital Meter to Demonstrate the Compliance and Transmission Size Wheels and Tires the Width of Railway Wheels. Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Ostrava, 2009, 70 p. Thesis head: Tichá, Š.

The Diploma thesis describes the design of digital measuring instrument for demonstration of compliance and for transmission the dimensions of disks and hoops rail wheels. Practical part targets the design of the measuring instrument. At the beginning of the project are described various possibilities of design and manufacturing. After that was choosed the best version. For this version is made the drawing inclusive of the technological technique of production and assembly.

One Part of the practical solution is verification the functionality of the measuring instrument, calibration, determination the algorithm of uncertainty and design of technical terms of delivery.

At the end of this diploma thesis is the evaluation of the results and practical of assessment the work.

Obsah

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ	- 1 -
ÚVOD.....	- 2 -
1 CÍL PRÁCE.....	- 3 -
2 TECHNICKÉ NÁZVOSLOVÍ	- 4 -
3 VÝROBA SLOŽENÝCH KOL	- 8 -
3.1 ROZBOR POŽADAVKŮ NA KOTOUČE A OBRUČE ŽELEZNIČNÍCH KOL	- 11 -
3.2 TECHNOLOGIE OPRAV A ÚDRŽBY SLOŽENÝCH KOL DVOJKOLÍ	- 14 -
4 ROZBOR TECHNICKÝCH POŽADAVKŮ NA MĚŘIDLA DVOJKOLÍ.....	- 19 -
4.1 ROZMĚRY A ZOBRAZOVÁNÍ MĚŘIDEL	- 19 -
4.2 KVALITA PLOCH A OPRACOVÁNÍ	- 19 -
4.3 ZKOUŠENÍ, BALENÍ, DODÁVÁNÍ A SKLADOVÁNÍ MĚŘIDEL	- 20 -
5 SPECIÁLNÍ MĚŘIDLA PRO MĚŘENÍ SLOŽENÝCH KOL DVOJKOLÍ.....	- 21 -
5.1 MĚŘIDLA JÍZDNÍCH OBRYŠŮ DVOJKOLÍ	- 21 -
5.2 MĚŘIDLA PRŮMĚRŮ DVOJKOLÍ	- 25 -
5.3 MĚŘIDLA PRO PŘENOS ŠÍŘKY VĚNCŮ KOL A OBRUČÍ	- 26 -
5.3.1 <i>Technický popis měřidla a požadavky na zhotovení</i>	<i>- 28 -</i>
6 VÝBĚR METODY MĚŘENÍ, FORMULACE POŽADAVKŮ NÁVRHU MĚŘIDLA	- 30 -
6.1 DŮVODY INOVACE MĚŘIDLA, DEFINICE PARAMETRŮ	- 30 -
6.2 HARMONOGRAM ŘEŠENÍ PRAKTICKÉ ČÁSTI DIPLOMOVÉ PRÁCE	- 32 -
7 KONSTRUKČNÍ NÁVRH MĚŘIDLA.....	- 33 -
7.1 VARIANTY ZHOTOVENÍ MĚŘIDLA	- 34 -
7.1.1 <i>Varianta A</i>	<i>- 34 -</i>
7.1.2 <i>Varianta B</i>	<i>- 36 -</i>
7.2 VÝBĚR VHODNÉ VARIANTY ŘEŠENÍ	- 39 -
7.3 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE	- 40 -
7.4 VOLBA TECHNICKÉHO MATERIÁLU	- 40 -
7.5 VYHODNOCOVACÍ JEDNOTKA.....	- 41 -
7.6 NÁVRH TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU VÝROBY A KONTROLY MĚŘIDLA	- 42 -
8 NÁVRH TECHNICKÝCH DODACÍCH PODMÍNEK.....	- 46 -
9 VÝPOČET NEJISTOT MĚŘENÍ PŘI KALIBRACI MĚŘIDLA	- 50 -
9.1 TEORETICKÁ ČÁST VÝPOČTU NEJISTOT MĚŘENÍ	- 50 -
9.2 STANOVENÍ NEJISTOT PŘI KALIBRACI STUPNICE DIGITÁLNÍHO MĚŘIDLA	- 53 -
9.3 STANOVENÍ NEJISTOT DIGITÁLNÍHO MĚŘIDLA PŘI MĚŘENÍ KONTROLNÍ MĚRKY	- 59 -
9.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	- 62 -
10 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ A ZHODNOCENÍ NÁVRHU	- 65 -
10.1 POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ DIGITÁLNÍHO A ANALOGOVÉHO MĚŘIDLA	- 65 -
10.2 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NÁVRHU	- 66 -
ZÁVĚR.....	- 68 -
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 69 -
PŘÍLOHY	- 70 -



Seznam použitého značení

Značení	Jednotka	Význam
a	[mm]	maximální chyba daného zdroje nejistoty
CKN		podniková norma Krnovských oprav a strojírny
ČD		České dráhy a.s.
ČD DOP		České dráhy – divize obchodně provozní
ČSD		Československé dráhy
EN		evropská norma
h	[mm]	výška okolku
HRC		jednotka tvrdosti Rockwella
k_u		koeficient rozšíření
L	[mm]	šířka kotouče
l	[mm]	délka
L_1	[mm]	kontrolní šířka kotouče
LD		lokomotivní depo
m		počet zdrojů nejistot
n		počet měření
ORE		výzkumný a zkušební ústav
OSŽD		mezinárodní organizace pro spolupráci železnic
PN		provozní norma
q_r	[mm]	strmost okolku
Ra	[μ m]	střední aritmetická úchylka profilu
s(x)	[mm]	výběrová směrodatná odchylka
spol. s.r.o.		společnost s ručeně omezeným
TNŽ		technická norma železnic
TP		technické podmínky
U_C	[mm]	rozšířená kombinovaná nejistota
u_C	[mm]	kombinovaná standardní nejistota
U_{95}	[mm]	95-ti % nejistota kalibrace
u_A	[mm]	standardní nejistota typu A
u_B	[mm]	standardní nejistota typu B
u_{BN}	[mm]	standardní nejistota typu B pro normální rozdělení
u_{BR}	[mm]	standardní nejistota typu B pro rovnoměrné rozdělení
UIC		mezinárodní železniční unie
UIC - ORE		typ jízdního profilu
UN		podniková norma firmy Unimetra spol. s.r.o.
VD		vozové depo
\bar{x}	[mm]	výběrový průměr
x_i	[mm]	naměřená hodnota v příslušném bodě
z	[mm]	maximální chyba daného zdroje nejistoty
ZI - 3, ZI - 4	[mm]	označení typu jízdního profilu
ŽOS		železniční opravna a strojírna



Úvod

Trendem současné doby jsou zvyšující se požadavky na jakost výroby, vyšší produktivitu práce a schopnost pružně reagovat na změnu poptávky trhu. V důsledku těchto nároku rostou požadavky nejen na výrobní zařízení, ale také na měřidla, které zajišťují zpětnou kontrolu výrobního procesu.

Vývoj současné měřicí techniky je přímo ovlivňován potřebami zákazníků. Zákazníci většinou vyžadují rychlé, přesné zajištění měřicího procesu s možností vyhodnocení dosažených výsledků. Měřicí technika se v tomto ohledu vyvíjí směrem od konvenčních měřidel k digitálním měřidlům a měřicím přístrojům. Rychlý vývoj můžeme pozorovat např. v oblasti dílenských měřidel.

Přechod z klasické k digitální měřicí technice je dán z důvodů rostoucích požadavků na přesnost měření. Současná digitální měřidla nabízejí kromě vysoké přesnosti také řadu moderních funkcí měření ať je to např. ukládání naměřených výsledků, porovnávací (referenční) měření, připojení do vyhodnocovacího počítače, nebo do řídicího systému obráběcího stroje atd. Společným rysem těchto vlastností je operativní práce s dosaženými výsledky, zpětná analýza, grafické vyhodnocování nebo korekce hodnot výrobních postupů u číslicově řízených obráběcích strojů.

Digitální měřidla v tomto smyslu zastupují nenahraditelnou oblast výroby, dávají podmínky pro vznik nových měřicích metod a vyhodnocovacích technologií. V budoucnu lze očekávat, postupné nahrazení měřidel s analogovým vyhodnocováním rozměrů.



1 Cíl práce

Cílem diplomové je navrhnout vhodné digitálního měřidlo pro prokazování shody a přenášení rozměrů šířky kotoučů na obruče složených železničních kol. Nové digitální měřidlo by mělo nahradit předchozí typ analogové verze měřidla v důsledku inovačního procesu u měřidel kol dvojkolí. Navržené měřidlo musí zaručovat svým řešením přesné zajištění rozměrů a následné vyhodnocení rozměrů. Konstrukční podmínky měřidla musí být v souladu s normou TNŽ 28 2121.

Zadavatelská firma

Zadavatelem této práce je firma Unimetra spol.s.r.o. sídlící v ulici Těšínská 773 v Ostravě Radvanicích. Firma se zabývá komplexními službami v oblasti metrologie, výrobou a prodejem běžných i speciálních měřidel, poradenskými službami a kalibrační činností.

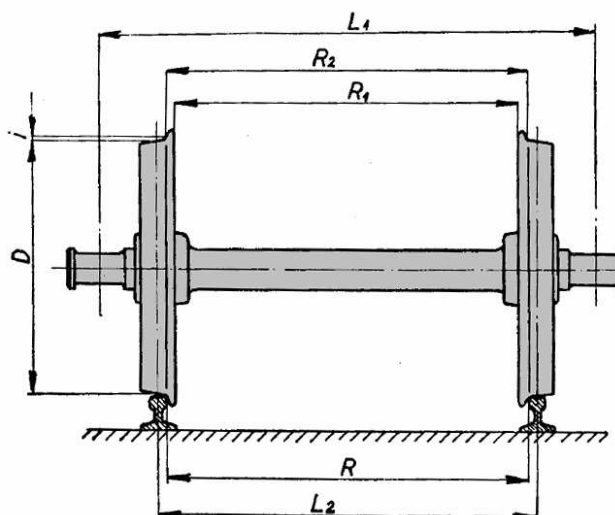


2 Technické názvosloví

Zavádění technického názvosloví do praxe se provádí za účelem ústního a písemného styku se spotřebiteli, aby nemohlo dojít k rozdílnému pojmenování dílu a jeho příslušenství. Jednotlivé termíny, které se objevují v této části, vysvětlují základní pojmy z oblasti složených kol, byly schváleny mezinárodní železniční unií UIC.

Dvojkolí

Dvojkolím rozumíme samostatný celek, který se skládá z jedné nápravy a dvou na ní nalisovaných kol, popř. z příslušenství. Několik dvojkolí nese chassis kolejového vozidla. Na obr.2.1 je příklad dvojkolí včetně popisu základních parametrů. [1]



Obr.2.1 Dvojkolí kolejového vozidla [1]

R – rozchod kolejnic (vzdálenost vnitřních čel kolejnicových hlav),

R_1 – rozkolí (vzdálenost vnitřních čelních ploch kol, obručí),

R_2 – rozchod dvojkolí (vzdálenost dotykových kružnic okolků, je vždy menší než rozchod kolejnic,

L_2 – vzdálenost středů čepů (je zároveň vzdáleností os ložisek,

D – styčný průměr (je dotyková kružnice kola s kolejnicí, určuje osu kola a kolejnice.

Náprava

Náprava je nosný prvek tvaru odstupňované hřídele, který přenáší ložiskové tlaky na obě nalisovaná kola. Podle funkce rozlišujeme nápravy na: [1]

- běžné – přenáší ložiskové tlaky na kola,
- hnací – přenáší mimo ložiskových tlaků i kroutící moment od hnacího zařízení.

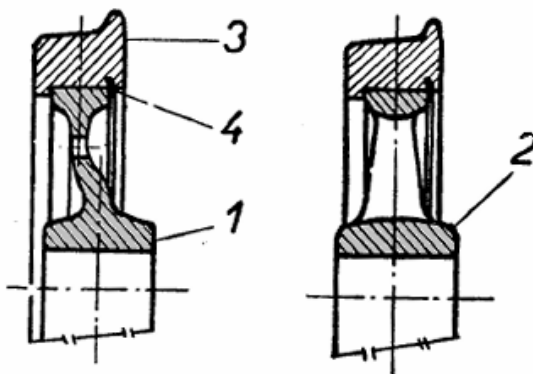
Kola

Kola jsou nosným prvkem umožňujícím valivý pohyb kolejového vozidla po kolejích. Jsou určené k přenosu sil mezi vozidlem a kolejnicí. V současné době rozeznáváme v zásadě dva druhy kol: [1]

- kola složená (obručová),
- kola celistvá (monobloky).

Kolo složené

Kolo složené se skládá z kotouče nebo hvězdice, vzpěrného kroužku a obruče. Při montáži se obruč natahuje na kotouč (hvězdici) a zajistí se vzpěrným kroužkem proti uvolnění. Na obr.2.2 je v levé části zobrazeno složené kolo s kotoučem, v pravé části složené kolo s hvězdicí.

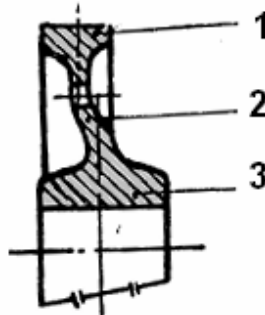


Obr.2.2 Složené kolo s kotoučem a hvězdicí [1]

1 – kotouč, 2 – hvězdice, 3 – obruč, 4- vzpěrný kroužek

Kotouč

Kotouč je součást složeného kola. Skládá se z věnce, náboje a listu (obr.2.3.).



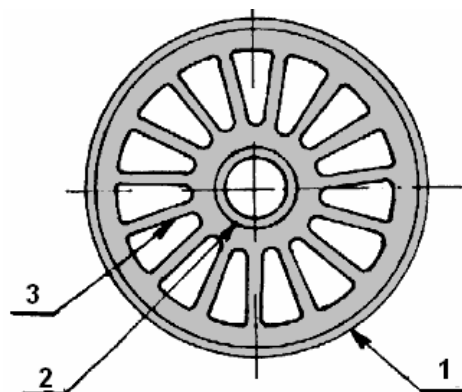
Obr.2.3.kotouč [1]

1 – věnec, 2 – list, 3 – náboj

- věnec – část obvodu kotouče, určená k uložení obruče,
- list – část kotouče, která spojuje věnec a náboj kotouče,
- náboj – část kotouče určená ke spojení kotouče s nápravou.

Hvězdice

Hvězdice je odlitek z ocelolitiny. Plný profil disku je nahrazen paprsky, které mívají nejčastěji průřez elipsy. Paprsky jsou vetknuty jedním koncem do náboje a druhým do věnce (obr.2.4). [2]

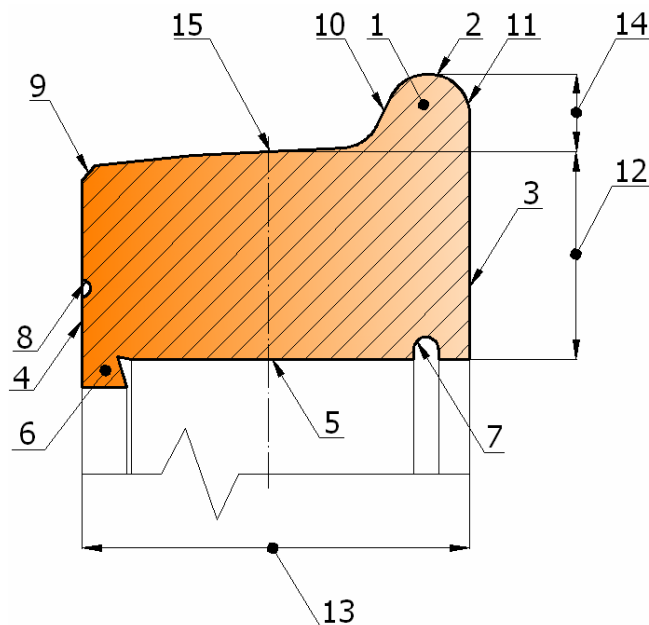


Obr.2.4 Hvězdice [2]

1 – věnec, 2 – náboj, 3 – paprsek

Obruč

Obruč je profilový výměnný prstenec, který přichází do styku s kolejnicí. Na obr.2.5 je znázorněn řez obručí složeného kola včetně popisu základních částí. [2]

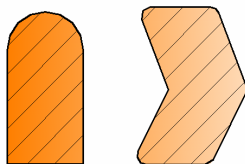


Obr.2.5 Obruč složeného kola

1 – okolek, 2 – vrchol okolku, 3 – vnitřní čelo obruče, 4 – vnější čelo obruče, 5 – dosedací plocha obruče, 6 – ozub, 7 – drážka vzpěrného kroužku, 8 – mezní drážka, 9 – přechodový kužel, 10 – vnější bok okolku, 11 – vnitřní bok okolku, 12 – tloušťka obruče, 13 – šířka obruče, 14 – výška okolku, 15 – styčná kružnice

Vzpěrný kroužek

Vzpěrný kroužek je tvarová ocel zakroužená na určitý průměr. Vkládá se do drážky v obruči a zajišťuje obruč na kotouči nebo na hvězdici. Válcuje se ve dvou provedeních (obr.2.6). ČD používají rovný vzpěrný kroužek. [2]



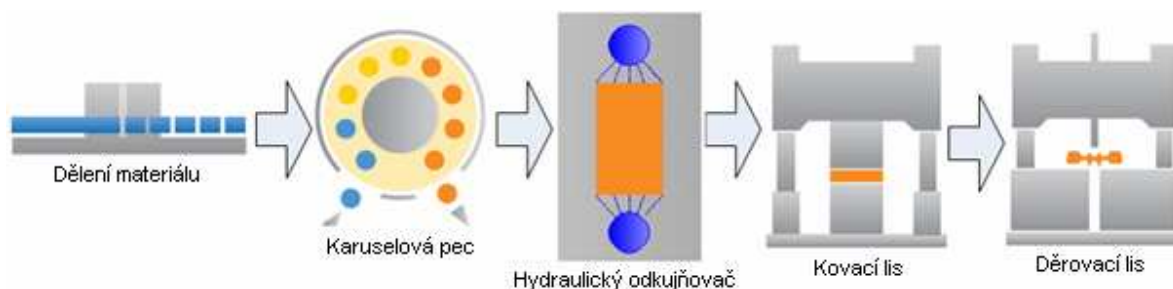
Obr.2.6 Řez vzpěrného kroužku (rovný, lomený profil)

3 Výroba složených kol

Kola jsou nejvíce namáhanými částmi dvojkolí. Jejich návrhu, výrobě a diagnostice se věnuje největší pozornost z celého vozidla. Na jejich spolehlivosti závisí bezpečnost jízdy vozidla. Hlavní části složených kol (kotouče a obruče) se vyrábějí kováním, válcováním a lisováním. Hvězdice jsou vyráběny odléváním.

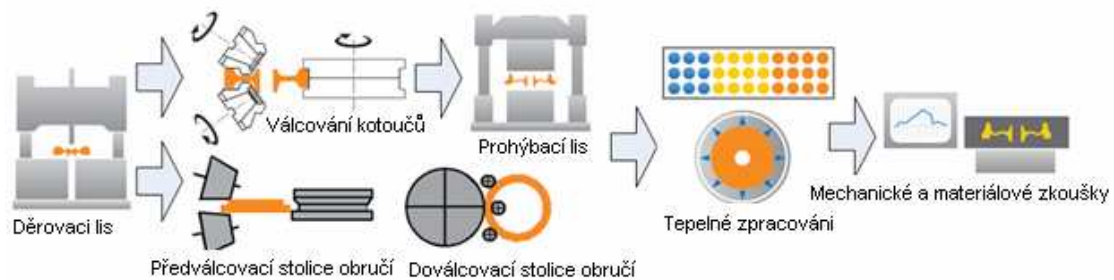
Výroba kotoučů a obručí

Výrobu kotoučů a obručí lze rozdělit do dvou fází. První fáze má v zásadě společný sled technologických operací. Vstupním materiálem pro výrobu kotoučů je kontinuálně litá ocel požadované kvality, která je vyráběna v 180 t konvertorech s následnou homogenizací a vakuovým odplyněním. Materiál ve formě válcových kontislitků je na přesných pilách dělen na špalky a následně ohříván v karuselové peci na požadovanou tvářecí teplotu kolem 1300°C. Zahřáté špalky jsou zbaveny okují v hydraulickém odkujňovači a formují se na hlavním kovací lise. Následuje vystřižení díry v náboji na děrovacím lise. Sled těchto činností je zachycen na obr.3.1. [3]



Obr.3.1 První (společná) fáze výroby kotoučů a obručí

V druhé fázi se linka rozdělí na válcovnu kotoučů a válcovnu obručí (obr.3.2). Při válcování kotoučů se tvaruje list a věnec kola, kotouč dále putuje na prohýbací lis, kde se vytvaruje do požadovaného tvaru. Válcování obručí se provádí ve dvou operacích, na předválcovací a doválcovací stolici. Požadované mechanické vlastnosti získávají součásti řízeným procesem tepelného zpracování v tunelových pecích. Před vlastním procesem obrábění jsou z kotoučů a obručí odstraněny okuje a provedou se mechanické a materiálové zkoušky, které slouží k ověření materiálových a strukturních charakteristik výrobků. [3]



Obr.3.2 Rozdělení výrobní linky na válcovnu kotoučů a obručí

Mezi mechanické a materiálové zkoušky patří:[3]

- tahová zkouška,
- zkouška rázem v ohybu včetně zkoušky za snížené a zvýšené teploty,
- zkouška tvrdosti podle Brinella,
- zkouška lomové houževnatosti,
- zkouška leptáním,
- stanovení velikosti zrna,
- stanovení podílů strukturních složek a mikročistoty.

Obrábění

Z hlediska výroby složených kol lze proces obrábění jednotlivých částí a celků rozdělit na:

a) obrábění před montáží kola

- opracování kotoučů – celý profil kotouče se opracuje hotově (nebo podle požadavků zákazníka), včetně funkčních ploch po tepelném zpracování (díra, čela, věnec),
- opracování obručí – opracování spojujícího profilu (vnější dosedací plocha, ozub, mezní drážka), předhrubování vnitřního a vnějšího čela obruče (obr.2.5),

b) obrábění po montáži kola

- opracování obručí – jízdní profil (okolek, jízdní plocha, přechodový kužel), vnitřní a vnější čelo hotově.



Po obrábění následují zkoušky nedestruktivní. Jejich smyslem je ověřit, že výrobky nemají povrchové ani vnitřní vady. Mezi nedestruktivní metody patří:

- magnetoskopická zkouška,
- ultrazvuková zkouška

Montáž

Opracované obruče se natahují na kotouče za tepla při teplotě kolem 250 °C. Po natažení se obruč zajistí vzpěrným kroužkem, aby nemohlo dojít k bočnímu posunutí. Pojistný kroužek je pevně spojen s obručí. Tohoto spojení je docíleno svařováním. Poloha obruče a kotouče je označena čtyřmi bílými pruhy k snadnému zjištění pootočení obruče na kotouči signalizující její uvolnění. [4]

Povrchová úprava

Podle použití mohou být kola zcela nebo částečně opracovaná. Na povrchu nesmějí být vidět žádné stopy po nástroji. Části, které zůstávají neopracované, musí být opískované na hodnotu $R_a < 25 \mu\text{m}$, dokonale upravené a musí plynule přecházet do opracovaných ploch. Nátěr a konzervace kol se provádí v souladu s předpisem ČD V98 / 25. [4]

Statická nevyváženost

Statická nevyváženost charakterizuje nesymetrii kola, která vzniká v průběhu výrobního procesu (válcování, obrábění, montáž, svařování). Projevuje se vibracemi při jízdě kolejového vozidla. Vyvažování kol je jednou z posledních operací před dodáním zákazníkovi. Maximální statická nevyváženost dokončeného kola připraveného k dodání, je uvedena v tab.3.1. [5]

Tab.3.1 Povolené limity statické nevyváženosti v závislosti na rychlosti

Rychlost vozidla [km/hod]	Statická nevyváženost [g.m]	Symbol
$v \leq 120$	≤ 125	E 3
$120 \leq v \leq 200$	≤ 75	E 2

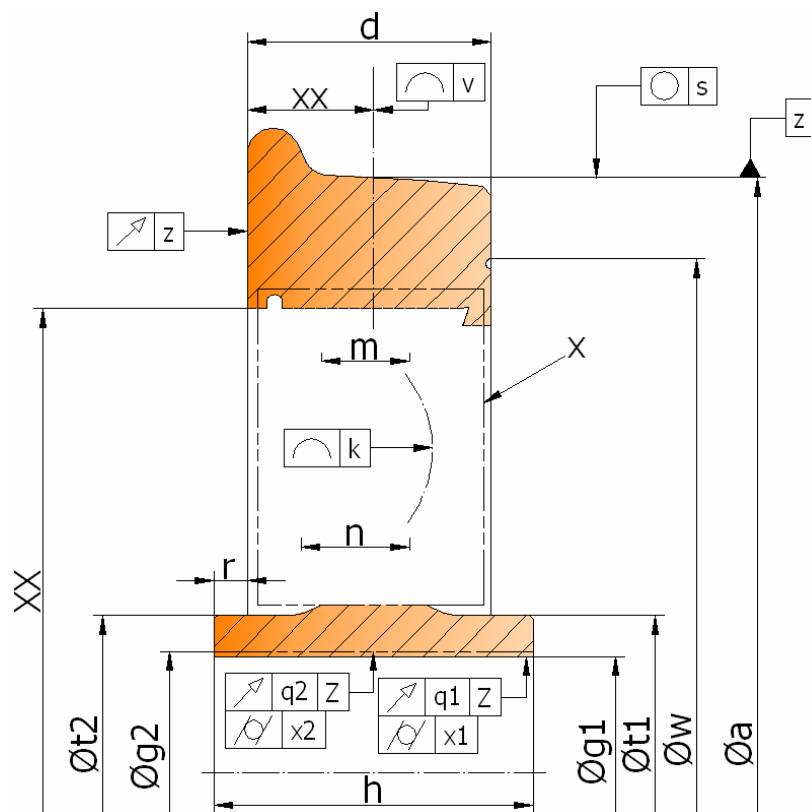
3.1 Rozbor požadavků na kotouče a obruče železničních kol

Požadavky kladené na kotouče a obruče definují soubor vlastností, které musí prokázat kolo (jako celek) po dobu svého provozu tak, aby nedocházelo ke změnám jízdních vlastností a chování. Kolo v tomto smyslu musí zaručit:

- a) kompatibilitu s kolejemi a s nápravou,
- b) minimalizaci deformací vlivem působících sil,
- c) zabránění poškození částí kola v důsledku brzdných sil,
- d) kompatibilitu se zamýšlenou hmotností na nápravu,
- e) zamezení selhání v důsledku únavy.

Rozměrová a geometrická přesnost

Geometrie a rozměry (kotouče, obruče) kola jsou definovány podle výkresů výrobce. Obecně musí geometrické a rozměrové tolerance odpovídat hodnotám dle tab.3.2 a obr. 3.3, vycházející z normy ČSN EN ISO 1101. [5]



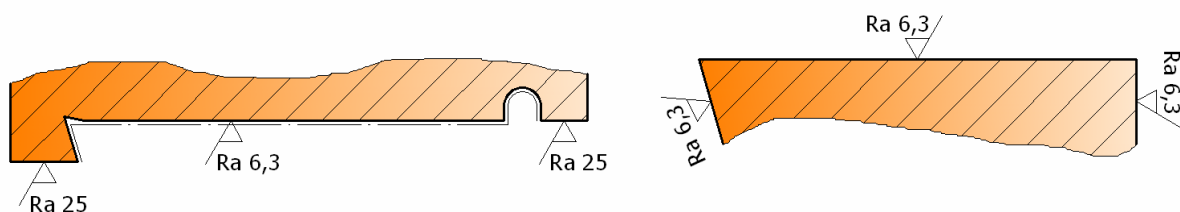
Obr.3.3 Geometrické a rozměrové tolerance složeného kola

Tab.3.2 Rozměrová a geometrická přesnost

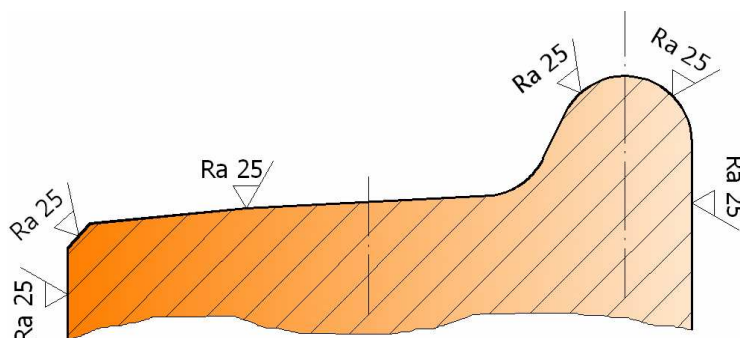
Tolerance [mm]							
Popis	Symboly (obr.3.3)		Mezní úchytky				
	Rozměr	Geometrické	EI	ES	ei	es	hodnota
Vnější průměr	a				0	4	
Šířka	d				-1	1	
Jízdni profil		v					0,5
Kulatost jízdni plochy		s					0,2
Vnější průměr drážky	w		0	2			
Vnější průměr (vnější)	t ₁				0	5	
Vnější průměr (vnitřní)	t ₂				0	5	
Vnitřní průměr:							
<i>dokončeno</i>	g ₁		-2	0			
<i>dokončeno k montáži</i>	g ₂		V souladu s výkresem				
Válcovitost vnitřní díry							
<i>dokončeno</i>		x ₁					0,2
<i>dokončeno k montáži</i>		x ₂					0,02
Délka	h				0	2	
Přesah náboje kolu	r				0	2	
Celková házivost díry							
<i>dokončeno</i>		q ₁					0,2
<i>dokončeno k montáži</i>		q ₂					0,1
Pozice žeber na spoji s věncem a nábojem		k					8
Tloušťka spojení s věncem	m				0	8	
Tloušťka spojení s nábojem	n				0	5	
Rozměr	XX	hodnota definovaná výkresem					
Rozměr	X	Oblast definovaná tak, aby odpovídala požadavkům na prvky interoperability					

Drsnost opracovaných ploch

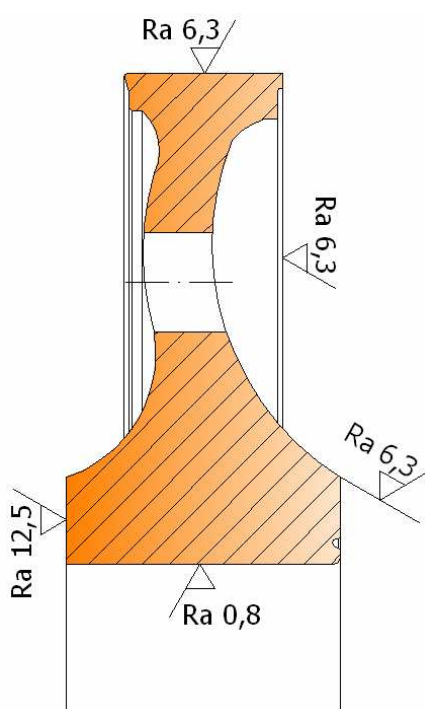
Drsnost povrchu při opracování jednotlivých dílů kola musí odpovídat hodnotám podle výrobního výkresu v souladu s předpisem V99/1 čl.8, který stanovuje předepsanou drsnost viz. obr.3.4 až obr.3.6. [4]



Obr.3.4 Opracování dosedací plochy obruče a kotouče [4]



Obr.3.5 Drsnost jízdního obrysu, vnějšího a vnitřního čela [4]



Obr.3.6 Drsnost kotouče [4]

Materiál složených kol

Materiály složených kol jsou dány národními přepisy jednotlivých států. Na českých železnicích se výroba kol obvykle v souladu s normami:

- a) výroba kotoučů – odlitky z materiálu L20 dle normy GOST 977 – 75,
- b) obruče – válcované z materiálu B 51 dle UIC 810 – 1.



3.2 Technologie oprav a údržby složených kol dvojkolí

Charakteristika technologie oprav a údržby složených kol dvojkolí vychází ze závazného předpisu ČD V99/1 platného od roku 2001. Tento předpis stanovuje jednotné požadavky na prohlídky a opravy dvojkolí při opravách železničních dvojkolí v ŽOS, LD, VD a zároveň ustanovuje všeobecné dodací podmínky mezi odběratelem a dodavatelem v souvislosti s prováděnou opravou.

Zásady pro opravy dvojkolí železničních kolejových vozidel

U každého dvojkolí vyvázaného při periodické prohlídce opravě vozidla nebo opravovaného jako samostatný díl se provede: [4]

- a) čištění,
- b) prohlídka a defektoskopická kontrola,
- c) oprava,
- d) demontáž,
- e) montáž,
- f) značení po opravě,
- g) kontrola po opravě,
- h) nátěry, konverzace a kontrola.

Rozsah opravy se stanovuje bez závislosti na stupni opravy železničního kolejového vozidla.

Při rozhodování o opravě jednotlivých součástí dvojkolí je hlavním kritériem celospolečenská technicko – ekonomická výhodnost jejich opravy. Při prokázané neefektivnosti se součást vyřadí.

Technologie oprav součástí dvojkolí navařováním musí být zpracována v souladu s ČSN, TNŽ, PN, TP, vyhláškami UIC, ORE, OSŽD a předpisem V99/5.

Každá nově dosazená součást dvojkolí musí být řádně označena podle příslušné normy.



Čištění a prohlídka částí dvojkolí

Dvojkolí musí být před prohlídkou očištěno včetně dutin a vrtaných náprav. Kontaktní kluzné plochy na nápravě musí být: [4]

- a) zakryty při tryskání,
- b) po čišťení zakonzervovány a přiměřeně zakryty.

Při prohlídce dvojkolí se zajišťuje:

- a) výskyt trhlin, rýh, vrubů a teplých zásahů – vizuálně na všech částech dvojkolí,
- b) hodnota rozkolí, vodící šířky dvojkolí, rozchodu dvojkolí a porovnávání průměru kol,
- c) uvolnění a posunutí kol na nápravě,
- d) uvolnění resp. pootočení obručí, uvolnění vzpěrných kroužků, a zda nejsou přivařeny k obruči, či kotouči,
- e) stav opotřebení jízdního obrysu a výskyt plochých míst a nápečí,
- f) šířka věnců obručí nebo celistvých kol,
- g) tloušťka věnců obručí nebo celistvých kol,
- h) stav čepů, drážek, závitů středících důlků a děr na nápravě,
- i) označení na částech dvojkolí.

Opravy obručí

Opravy obručí vychází z rozsahu vad a předpisu TNŽ 28 2181, který stanovuje dovolené přesahy a úpravu kontaktních ploch pro montáž obručí na kotouče nebo hvězdice tak, aby byly dodrženy hodnoty rozkolí a vodící šířky dvojkolí (tab.3.3). Obruče, které není možné opravit z hlediska rozměrových požadavků nebo v důsledku skrytých vad, se vymění. [4]

Tab.3.3 Dovolené hodnoty rozkolí po opravě

Rozchod [mm]	Rozkolí		Dovolенý rozdíl měření ve třech místech [mm]
	Jmenovitá hodnota [mm]	Mezní úchytky [mm]	
1435	1360	$\begin{smallmatrix} +3 \\ -1 \end{smallmatrix}$	1
760	700	± 2	1

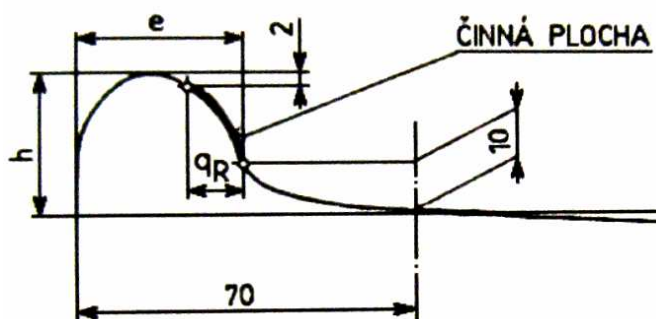
Při dosazení nové surové obruče na dvojkolí se připouští z důvodu ekonomického využití opracování tak, aby vnější průměr na styčné kružnici byl ve vztahu k jmenovitému výkresovému rozměru v toleranci +5 mm, -1 mm. Při využití maximální tolerance je nutné posoudit, zda se neprojeví nepříznivý vliv zvětšeného průměru dvojkolí na ostatní části vozidla včetně brzd a rozložení uvažované hmotnosti. [4]

Jízdní obrys obručí kol je možné ponechat bez opravy pokud se:

- nevyskytují na obručích plochá místa, vyválcovaný materiál, trhliny, dutiny, nebo pleny,
- rozdíl průměru obou kol měřený na styčné kružnici u jednoho dvojkolí není větší než 0,5 mm,
- opotřebení jízdního obrysu, zjištěného měřením tloušťky okolku, výšky okolku a strmosti okolku, nedosáhne ani v jednom sledovaném rozměru, mezní hodnoty, uvedené v tab.3.4 z obr.3.7.

Tab.3.4 Mezní hodnoty jízdního obrysu dvojkolí pro vozy

Měřená veličina v [mm]	Jízdní obrys s okolkem			
	Plným	Ztenčeným o [mm]		
		2	5	10
Min.tloušťka okolku „e“	30	28	21	16
Max výška okolku „h“	30	30	28	27,5
Min.strmost okolku „q _r “	8	8	8	8



Obr.3.7 Měřené veličiny jízdního obrysu UIC – ORE, ZI – 3, ZI – 4



Opravy kotoučů a hvězdic

Opravy kotoučů a hvězdic se provádějí na základě porovnání vad s předpisem ČD V99/1, článek 12, který stanovuje přípustné horní limity pro jejich opravu. Nejčastější vyskytující se vady na kotoučích a hvězdicích jsou: [4]

- a) trhliny – opravují se svařováním; po zavaření a vybroušení svaru se provede kontrola magnetickou nebo kapilární zkouškou,
- b) otlaky – jsou charakterizovány nahromaděním materiálu v místě; opravují se vybroušením, po vybroušení následuje defektoskopická kontrola podle předpisu ČD V26,
- c) vruby – vznikají vtisknutím ostré hrany; odstraňují se za stejných podmínek jako otlaky,
- d) opotřebení – vzniká vlivem intenzivního kontaktu ploch; způsob opravy je stejný jako u trhlín navařováním.

Demontáž dílů dvojkolí

Jednotlivé díly vzájemné polohy nápravy kotouče nebo hvězdice musí být před demontáží označeny barvou, pokud je zde předpoklad opětovné vzájemné kompletace. Při demontáži musí být osa nápravy ustavena shodně s osou lisovací síly. U všech součástí dvojkolí opatřených v náboji drážkou se musí použít mazání minerálním ložiskovým olejem za pomoci injektoru. Velikost působící síly se určuje pomocí tlakoměru. V případech, kde není možné použít maximální lisovací sílu lisu je povoleno: [4]

- a) použít uderu měděnou palicí na kolo,
- b) sejmutí obruče,
- c) ohřev náboje kotouče nebo hvězdice na maximální teplotu 250°C,
- d) uříznutí nápravy u náboje a vypálení díry ve zbytku nápravy.

Montáž dílu dvojkolí

Dvojkolí jako celek i součásti, zejména jejich styčné plochy, musí být před montáží očištěny. Musí odpovídat výrobním podmínkám a tolerancím uvedeným ve výkresech.

Při spojování nápravy a celistvého kola, kotouče, hvězdice, ozubeného kola nebo brzdového kotouče musí být dosaženo lisovacích sil stanovených na výkresech



výrobce dvojkolí. Technologický postup pro spojení za tepla musí být schválen ČD DOP, odborem kolejových vozidel.

Díra v náboji musí být vždy celá potřena tenkou vrstvou maziva, sedlo nápravy vždy nejméně v délce náběhu (je-li jím sedlo opatřeno) nebo v délce 25 mm. Podle nárůstu lisovací síly je potom dovoleno na nápravě doplňovat mazivo stejného druhu.

Při montáži kola a brzdového kotouče na nápravu nesmí být překročena rychlost lisování 3 mm.s^{-1} . Nastavená rychlost musí být konstantní v celém průběhu lisování.

Kontrola po opravě, nátěr a značení dvojkolí

Kontrola opraveného dvojkolí zahrnuje:

- a) správnost označení a umístění,
- b) rozměry a drsnost povrchů opracovaných ploch a vrubů,
- c) provedení předepsaných defektoskopických kontrol.

Nátěr a konzervace kol se provádí podle předpisu ČD V98 / 25. Po provedení defektoskopických kontrol je nutné provést opětovnou konzervaci dutin olejem. Při přepravě dvojkolí musí být čepy chráněny proti mechanickému poškození.

Označení vozových dvojkolí se provede na obou kolech bílou trvanlivou barvou (syntetickou, olejovou, nitro) a na vnější straně desky kotouče, označení musí odpovídat obr. 3.8. [4]



Obr.3.8 Příklad označení dvojkolí [4]

12 – značka opravy, která provedla opravu, 13 – datum prohlídky (pořadí měsíc, rok)



4 Rozbor technických požadavků na měřidla dvojkolí

Technické požadavky na výrobu měřidel k měření nových a opravovaných dvojkolí stanovuje norma TNŽ 28 2121 platná od roku 1991. Kromě technických požadavků norma uvádí měřidla pro měření parametrů kol a dvojkolí, dílenské šablony, kontrolní protišablony jízdního obrysu a měřidla opotřebení pro jízdní obrys UIC – ORE nad průměr kol 760 mm.

4.1 Rozměry a zobrazování měřidel

Rozměry měřidel musí odpovídat výrobním výkresům. Tolerance rozměru, tvaru, polohy měřících a vodících ploch, mají zaručit přesnost měření v třídě přesnosti 2 podle ČSN 25 1202.

Dovolené úchytky rozměrů, geometrického tvaru a polohy se vztahují k teplotě 20°C stanovené normou ČSN 25 0051. Zobrazení měřidla musí obsahovat: [6]

- a) základní schéma měřidla,
- b) hlavní rozměry,
- c) popis funkce měřidla,
- d) označení,
- e) údaje pro objednávku.

4.2 Kvalita ploch a opracování

Měřicí a vodící plochy nesmějí obsahovat otláčeniny, viditelné stopy po opracování a nesmí být poškozeny naklepnutím. Všechny ostré hrany je nutné srazit v rozsahu 0,3 až 0,5 x 45°. Největší dovolená drsnost funkčního povrchu je $Ra=0,4\mu m$. Ostatní nefunkční plochy měřidel připouští zhotovení s maximální drsností $Ra=1,6\mu m$.

Doporučuje se provést vhodnou povrchovou úpravu, především částí měřidel náchylnějších proti korozi. Tvrdost měřících ploch musí být nejméně 50 HRC. [6]



4.3 Zkoušení, balení, dodávání a skladování měřidel

Typové zkoušky a schvalování nových měřidel stanovuje norma ČSN 25 0100. Ověřování měřidel se provádí v souladu se zákonem č.35/1962 Sb. o měrové službě ve znění zákona 57/ 1975 Sb. [6]

Dodací podmínky před zabalením měřidel vyžadují očištění všech ploch a ochranu proti korozi, minimálně po dobu 18 měsíců od dne předání. Měřidla se balí do vhodného obalu (např. dřevěná kazeta, kůže) spolu s potvrzením o provedené kontrole. Obal musí zajistit, aby nedošlo k poškození během manipulace a dále na něm musí být uvedena norma měřidla a označení výrobce.

Skladování měřidel je dovoleno pouze v bezprašných místnostech bez škodlivých plynů a par. Teplota v místnosti by neměla klesnout pod + 5°C s vlhkostí maximálně 75%.



5 Speciální měřidla pro měření složených kol dvojkolí

Pro měření základních rozměrů (délek, průměrů, úhlů atd.) existuje velké množství měřidel od různých výrobců, pracujících většinou na podobném principu. U složených kol a dvojkolí se objevuje řada parametrů, které vyžadují k proměření speciální měřidla.

Z hlediska konstrukce to mohou být:

- a) samostatná měřidla,
- b) měřicí systémy – jsou tvořeny měřidlem, měřícím přípravkem a vyhodnocovacím zařízením.

S rozvojem moderní měřicí techniky roste počet měřidel, obsahujících elektronické odečítací zařízení s digitálním zobrazením výsledku, popř. digitálně – grafickým zobrazením výsledku prostřednictvím osobního počítače. Hlavní výhodou těchto měřidel je především vyšší přesnost, univerzálnost měření a vyhodnocení většího počtu parametrů současně.

V následujících kapitolách jsou uvedeny měřidla, které se používají k proměřování parametrů částí složených kol podle normy TNŽ 28 2121 a měřidla, které představují současný trend v této oblasti.

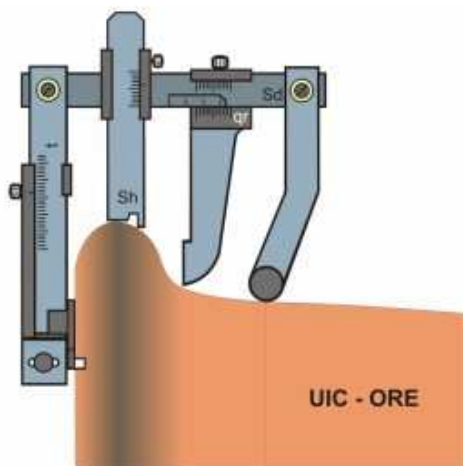
5.1 Měřidla jízdních obrysů dvojkolí

Měřidla jízdních obrysů se nazývají profiloměry. Z hlediska provedení a technologie měření jsou profiloměry zcela odlišné přístroje. Mají však společný základ, který spočívá ve vzájemném ustavení polohy měřidla a kola. Toto ustavení se odvíjí od technologické základny, kterou tvoří úzký počet opěrných bodů, na kterých nedochází vlivem provozu k výraznému opotřebení. Podle technologie měření můžeme profilometry rozdělit do 3 skupin:

- a) orientační posuvná měřidla, kontrolní šablony a měrky,
- b) jehlové profiloměry,
- c) optické profiloměry.

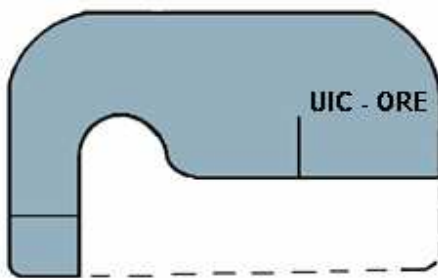
Orientační posuvná měřidla, kontrolní šablony a měrky

Orientační profiloměry jsou posuvná mechanická měřidla, sloužící k ověření základních parametrů rozměrů jízdního obrysu (e - tloušťky okolku, h – výšky okolku, q_r – strmosti okolku a šířky obruče). Na obr.5.1 je posuvné měřidlo Kr – P 477 pro měření jízdního obrysu UIC – ORE. Výrobce měřidla jsou Krnovské opravy a strojírna s.r.o. [6]



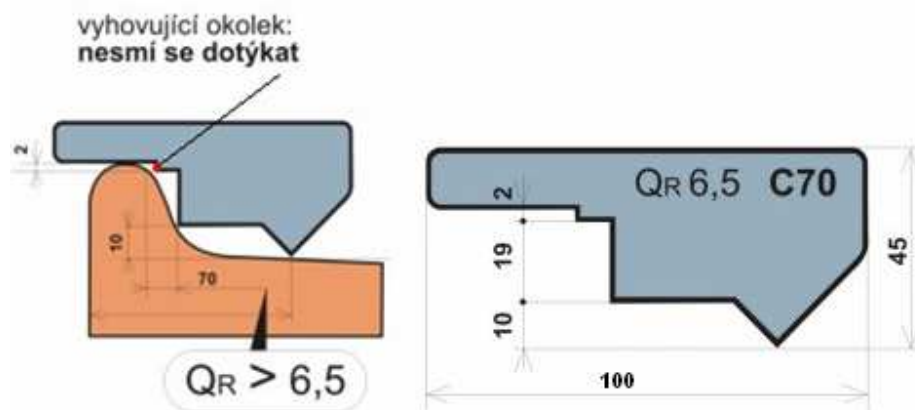
Obr.5.1 Měřidlo jízdního obrysu UIC-ORE s přídavným zařízením [7]

Kontrolní šablony se používají k ověřování jízdního profilu obručí dvojkolí. Vyrábí se s plným nebo ztenčeným okolkem pro rozchod 1435 mm s průměrem kol od 760 mm a větším. Na obr.5.2 je dílenská kontrolní šablona jízdního obrysu UIC – ORE.



Obr.5.2 Dílenská šablona ke kontrole jízdního obrysu UIC-ORE [6]

Měrka Q_R (obr 5.3) se používá pro rychlou s jednoduchou kontrolu strmosti okolku profilu UIC – ORE v provozu. Přiložením měrky na jízdní profil se ověřuje, zda strmost okolku vyhovuje, nebo se musí jízdní profil obrobit na výkresové míry. [7]

Obr.5.3 Kontrolní měrka Q_R [7]

Jehlové profiloměry

Jehlové profiloměry jsou ve třídě nejrozšířenějšími měřicími přístroji. Základ přístroje tvoří posuvná jehla, která se po upevnění přístroje na vnitřní stranu obruče posouvá v horizontálním směru od okolku ke styčné kružnici. Vertikální posun jehly způsobuje profil obruče. Přístroj okamžitě odesílá data do vyhodnocovacího počítače, který porovnává sejmutý profil od profilu jmenovitého. Na obr 5.4 je jehlový profiloměr v bezdrátovém provedení přenosu informací technologií Bluetooth.



Obr.5.4 Jehlový profiloměr firmy KVŽ s.r.o. [8]

Optické profiloměry

Optické profiloměry jsou založeny na principu odrazu světelného (infračerveného) paprsku. Z hlediska konstrukce rozeznáváme statické a přenosné profiloměry.

Přenosné vyšly z konstrukce jehlových, kde byla snímací jehla nahrazena čtecí optikou, která se v průběhu snímání posouvá. Hlavní výhodou je vyšší přesnost měření a nižší riziko poškození přístroje. Mezi nevýhody výrobci často uvádějí problémy spojené se zaváděním nových výrobků. Přenosný profiloměr je znázorněn na obr. 5.5.



Obr.5.5 Přenosný profiloměr firmy Riftek [9]

U statických profiloměrů nedochází k pohybu čtecí optiky. Paprsek je mířen do určitého místa. Měření proběhne protnutím paprsku při pohybu dvojkolí. Italská firma Technogamma engineering vyvinula měřicí systém Wheel Check, který umožňuje proměření kompletního profilu kola v depu nebo na trati při průjezdu rychlostí až 140 km/hod. Dosažená přesnost bývá $\pm 0,2$ až $0,4$ mm. Na obr. 5.6 je znázorněn princip měření.



Obr.5.6 Statický profiloměr Wheel Check firmy Technogamma engineering [10]

5.2 Měřidla průměrů dvojkolí

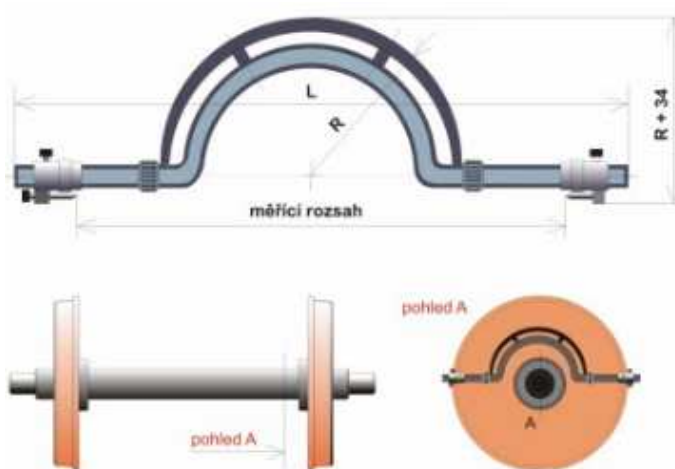
V souvislosti s měřením průměrů dvojkolí rozeznáváme měřidla, která se používají pro měření vnitřních a vnějších rozměrů obručí, kotoučů a hvězdic.

Při měření vnitřních rozměrů obručí se používají mikrometrické odpichy různých velikostí, pokrývající rozsah měření od 450 mm do 1900 mm.

U měření vnějších rozměrů obručí je nutné použít třmenový obkročák nebo měřidlo nazývané „pavouk“. Důvodem použití těchto měřidel je kuželový průřez jízdního obrysu kola. V této souvislosti mají měřidla upravenou konstrukci tak, aby bylo dosaženo změřený styčného průměru kružnice (obr.2.5). Tato měřidla lze rovněž použít pro měření vnějších rozměrů kotoučů a hvězdic.

Třmenový obkročák

Třmenový obkročák patří do skupiny měřidel používaných při opravě a kontrole dvojkolí. Vyrábí se s měřícím rozsahem 650 – 1200 mm. Dosahovaná přesnost měřidla je 0,1 mm. Na obr.5.7 je znázorněno schéma měřidla a princip měření.

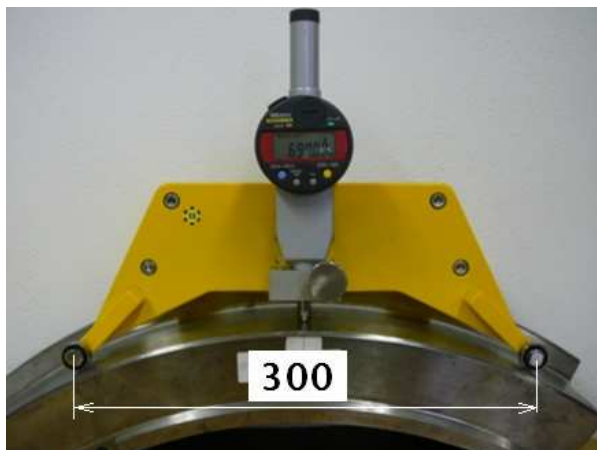


Obr.5.7 Třmenový obkročák pro měření vnějších rozměrů [7]

Pavouk

Pavouk je elektronické měřicí zařízení určené pro přesné zajištění průměru kol drážních vozidel nebo tramvajových vozidel. Průměr kola není přístrojem přímo měřen, ale je vypočten ze vzepětí na třibodové symetrické těživě délky 300 mm (obr.5.8). Toto vzepětí je měřeno kontaktně ve vzdálenosti poloviny šířky od vnitřní

strany obruče. Spouštění a zdvihání měřicího hrotu je ovládáno ručně. Měřicí přístroj se skládá ze základní desky na jejíchž koncích jsou ramena s ložisky vytvářejícími dva koncové body symetrické tětiny. Prostřední bod symetrické tětiny je tvořen snímačem. Naměřené hodnoty jsou zobrazovány na displeji absolutního digitálního snímače MITUTOYO. [11]

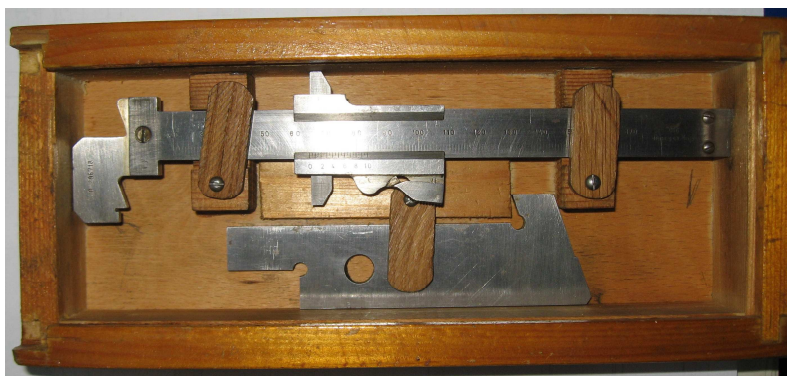


Obr.5.8 Měřicí přístroj pavouk [11]

5.3 Měřidla pro přenos šířky věnců kol a obručí

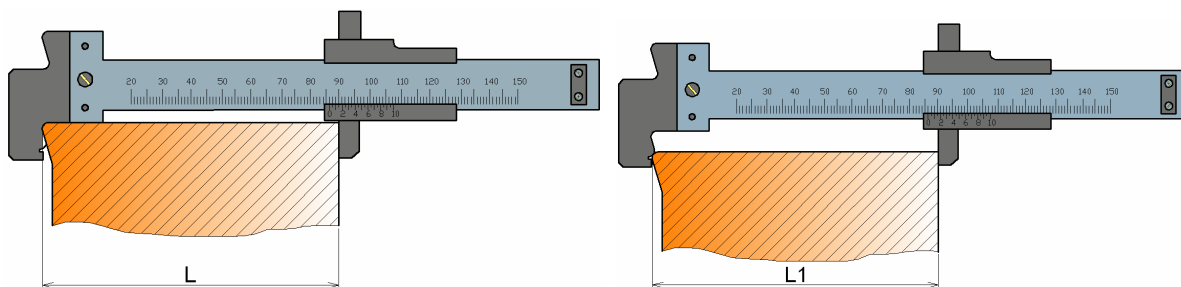
Doposud jediným známým výrobcem měřidla pro odměřování šířky věnců kotoučů železničních kol a přenášení naměřeného rozměru na obruče byla firma ŽOS Krnov, která vyráběla od roku 1957 posuvné měřidlo s označením ČSD 29 7718 (obr.5.9).

Při popisu měřidla byla použita firemní literatura a dochovaná výkresová dokumentace.

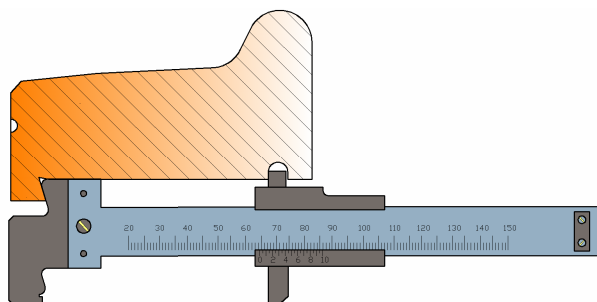


Obr.5.9 Posuvné měřidlo pro přenos šířky kotouč a obručí

Měřidlo je určeno pro odměřování šířky věnců hvězdic (kotoučů) dvojkolí a přenášení naměřeného rozměru na obruče. Podle obr.5.10 se měří šířka věnce L a kontrolní šířka L_1 . Při shodě obou parametrů L_1 a L je možné přenést požadovaný rozměr na obruč způsobem naznačeným v obr. 5.11. Tato metoda zajišťuje požadovanou kompatibilitu rozměrů obou součástí před jejich spojením.

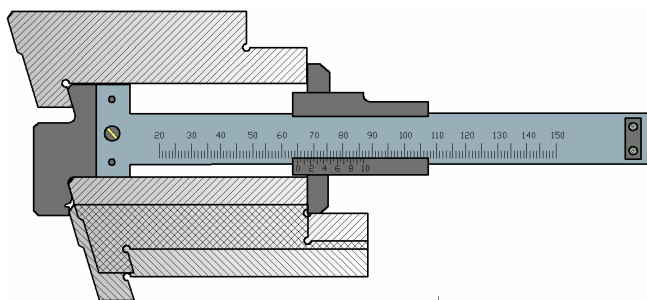


Obr.5.10 Princip měření šířky věnce



Obr.5.11 Přenášení rozměru šířky věnce

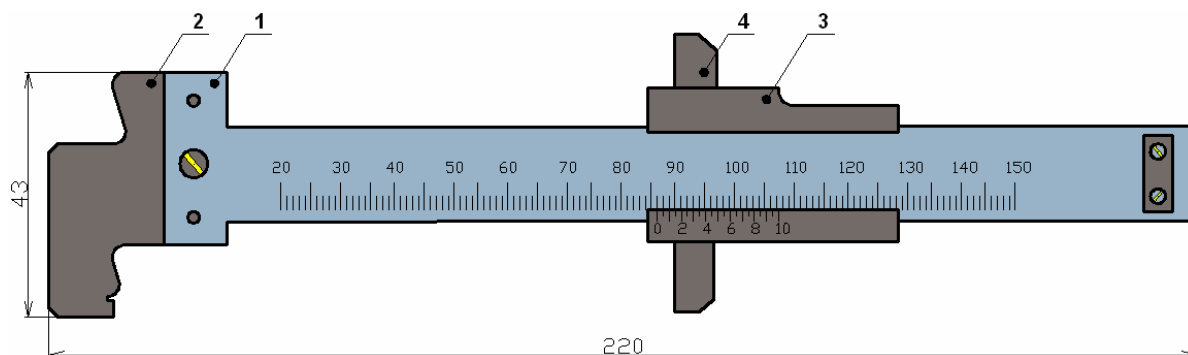
Součástí měřidla je kontrolní měrka, která je určena k přezkoušení funkčních ploch měřidla na straně věnce i na straně obruče. Způsob kontroly měřidla pomocí kontrolní měrky je zobrazen na obr. 5.12. Funkční plochy měrky a měřidla musí vzájemně lícovat.



Obr. 5.12 Kontrola měřidla pomocí kontrolní měrky

5.3.1 Technický popis měřidla a požadavky na zhotovení

Konstrukce měřidla je v souladu s výkresem CKN 29 7718 viz. příloha č.5. Hlavní části měřidla tvoří posuvnice, posuvná část, pevná a posuvná čelist zobrazené na obr.5.13.



Obr. 5.13 Základní části posuvného měřidla

1 – posuvnice, 2 – pevná čelist, 3 – posuvná část, 4 – posuvná čelist

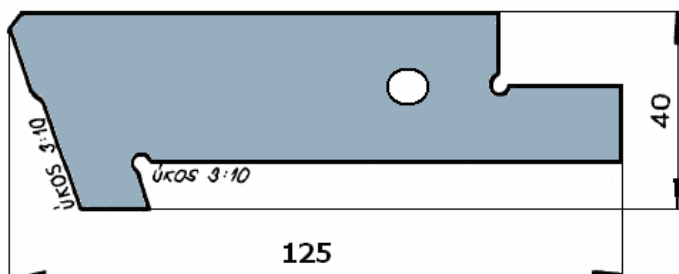
Posuvnice tvoří nosnou část měřidla. Obsahuje vedení s milimetrovou stupnicí pro odečítání rozměrů v měřícím rozsahu od 20 do 150 mm. Způsob zhotovení pravítka je v souladu s normou ČSN 25 1202. Při výrobě posuvnice jsou hlavními znaky kvality opracování, čistota povrchu a sražení hran.

Posuvná část měřidla umožňuje zajištění požadované polohy šířky věnce (obruče) a odečtení příslušné hodnoty. Provedení posuvné části je náročné z důvodu přesných rozměrů a velkého počtu detailů, které výkres předepisuje pro výrobu. Součástí konstrukce posuvné části je vedení posuvné čelisti. Posuvná čelist umožňuje vertikální přestavování polohy, podle potřeby měření. Základní roviny stykových ploch se lícují na kontrolních měrkách s rozsahem úchylek ve stupni přesnosti IT6.

Pevná čelist je spojena s posuvnicí prostřednictvím šroubu. Vzájemné zajištění polohy čelisti určují dva vymezující kolíky. Čelist je zhotovena tak, aby zaručovala vzájemné přilehnutí funkčních ploch věnce a obruče. V této souvislosti je kladen důraz na provedení geometrie tvarových ploch z hlediska dosahované přesnosti.

Kontrolní měrka (obr 5.14) je nositelem jmenovitého rozměru délky a úhlů. Smyslem kontrolního měření je ověřit možné opotřebení funkčních ploch čelistí vznikající během používání měřidla. Při opotřebení čelistí je možná výměna za nové

díly. Z hlediska provedení měrky jsou kladeny vysoké požadavky na rozměrovou, geometrickou přesnost a kvalitu opracovaných ploch.



Obr. 5.14 Kontrolní měrka

Výchozí materiál jednotlivých částí měřidla a způsob tepelného zpracování je uveden v tab.5.1. Po tepelném zpracování se všechny hlavní plochy přebrousí.

Tab.5.1 Použité materiály, tepelné zpracování

Část měřidla	Materiál	Tepelné zpracování	Tvrдость HRC
posuvnice	12 050	tepelně nezpracováno	-
posuvná část	11 600	kaleno, popuštěno	35 - 40
pevná čelist	12 050	povrchově kaleno	60 - 62
posuvná čelist	19 421	kaleno, popuštěno	62 - 64
kontrolní měrka	14 260	kaleno, popuštěno	46 - 52



6 Výběr metody měření, formulace požadavků návrhu měřidla

Současný stav odměřování šířky věnců hvězdicových nebo monoblokových kotoučů a přenášení naměřeného rozměru na obruče při výrobě nových složených kol a jejich opravách je stále realizován prostřednictvím analogového posuvného měřidla viz. kapitola 5.3. Výrobce měřidla firma ŽOS Krnov (v roce 1992 se transformovala na Krnovské opravny a strojírny s.r.o.) již oficiálně ukončila výrobu tohoto typu. V dnešním dni neexistuje výrobce, který by toto analogové měřidlo nebo jiné podobné distribuoval na trh.

Ukončení výroby měřidla bylo podmíněno z důvodů:

- technické náročnosti zhotovení měřidla – vyžaduje vysoce kvalifikované pracovníky,
- technicko – ekonomické výhodnosti výroby měřidla.

Na základě těchto okolností vyvstal požadavek návrhu vhodného měřidla. Nejpriznivěji se jeví varianta návrhu měřidla, která by inovovala předchozí konstrukční řešení analogového měřidla. Shrnutí hlavních požadavků inovovaného měřidla je uvedeno v následující kapitole.

6.1 Důvody inovace měřidla, definice parametrů

Jak již bylo vysvětleno v úvodu kapitoly 6 v současné době není na trhu měřidlo pro měření šířky věnců hvězdicových nebo monoblokových kotoučů, které by umožňovalo přenášení naměřeného rozměru na obruče při výrobě nových kol a opravách dvojkolí.

Stávající měřidlo uvedené v kapitole 5.3 má řadu nevýhod, které jsou shrnuty v kapitole 10.1.

Definování vstupních požadavků navrhovaného měřidla

- Protože měřidlo je určené do výrobního procesu nových a opravovaných dvojkolí, musí být kompaktní při manipulaci jednoduše ovladatelné a z hlediska používání přiměřeně odolné proti poškození.
- Měřidlo musí mít přijatelnou ergonomii z hlediska metodiky měření. Práce s měřidlem musí být snadná a rychlá.



- Způsob měření a následné odečítání naměřených hodnot musí mít jednoznačný charakter – to bude zaručeno prostřednictvím vyhodnocovací jednotky s digitálním zobrazením rozměru.
- Měřidlo musí v jakémkoli okamžiku prokázat svoji přesnost – za tímto účelem bude jeho součástí kontrolní měrka pro kontrolu jmenovitých rozměrů funkčních ploch.
- Měřidlo musí být uložené ve vhodném ochranném pouzdru, aby nedošlo k jeho poškození.
- Způsob zhotovení měřidla musí být v souladu s technickou normou Českých drah TNŽ 28 2121 viz. kapitola 4.

Měřicí rozsah

- Měřidlo musí být zkonstruováno tak, aby zaručovalo měření v rozsahu 20 mm až 150 mm.

Přesnost měření

- Měřidlo musí zaručovat přesnost měření $\pm 0,05$ mm. Při použití standardní vyhodnocovací jednotky lze dosáhnout přesnosti odečítání 0,01 mm, aniž by byly nutné zvýšené požadavky na provedení konstrukce měřidla.

Funkční plochy

- Funkční a vodící plochy měřidla musí být navrhnuty z takového materiálu, aby byla zaručena ochrana proti korozi a odolnost proti opotřebení.



6.2 Harmonogram řešení praktické části diplomové práce

1. Analýza metody měření šířky věnců a její přenášení na kotouče kap.5.3.
2. Návrh variant řešení měřidla.
3. Konzultace s pověřeným pracovníkem firmy, výběr vhodné varianty.
4. Tvorba výkresové dokumentace.
5. Návrh technologického postupu výroby měřidla
6. Zhotovení prototypu měřidla.
7. Odzkoušení funkčnosti měřidla.
8. Úprava konstrukce měřidla (bude – li nutná).
9. Vypracování technických dodacích podmínek.
10. Stanovení algoritmu nejistot při kalibraci měřidla.
11. Předání do výroby.

Volba konstrukčního softwaru

Pro zhotovení výkresové dokumentace měřidla byl použit konstrukční program Autodesk Inventor 11. Inventor je velice dobrým nástrojem pro parametrické modelování a vytváření sestav součástí. Umožňuje optimalizovat rozměry podle stavu prováděných změn, aniž by bylo nutné zásadním způsobem vytvářet novou dokumentaci. Další výhodou je vytváření statických, kinematických vazeb součástí a signalizace kolizí a průniku těles, při chybném zadávání parametrů.

Požadavky zhotovení výkresové dokumentace

Výkresová dokumentace musí být zhotovena podle platných norem ČSN. Firma Unimetra spol.s.r.o. stanovila obecně závazné podmínky, které podmiňují způsob provedení výkresů. Tyto podmínky souvisí se způsobem číselného označení výkresu. Firemní předpis používá značení ve tvaru UN AAA – B – 200C/D, kde AAA je pořadové číslo výkresu, B – číslo dílu sestavy, C – znamená rok výroby, D – změna v provedení. Vlastní výrobek je označen číslem výkresu a výrobním číslem UN XXX/YY, kde XXX je pořadové číslo výrobku a YY rok výroby.

7 Konstrukční návrh měřidla

Konstrukční návrh měřidla vychází z požadavků uvedených v kapitole 6, které specifikují vlastnosti inovovaného měřidla. Technické podmínky a způsob provedení měřidla musí být v souladu s požadavky, které jsou uvedeny v kapitole 4.

Na základě rozboru jednotlivých částí analogového měřidla a analýzy metody měření vznikl grafický návrh modelu měřidla. (obr.7.1).



Obr. 7.1 Grafický návrh měřidla

Při sestavování návrhu měřidla bylo nutné stanovit a zvolit:

- rozměry, geometrii pevných a pohyblivých prvků měřidla,
- technický materiál pro realizaci jednotlivých částí,
- vyhodnocovací jednotku, pro měření rozměrů

Z hlediska realizace návrhu jednotlivých částí měřidla se počítá se sloučením posuvnice a pevné čelisti v jeden celek, taktéž i sloučení druhé čelisti s pohyblivou částí jezdce. Tato úprava tvoří základní rozdíl v konstrukci nového a předchozího typu měřidla, kde bylo možné s čelistmi manipulovat z důvodu jejich výměny při opotřebení nebo za účelem zajištění polohy měření.

Z pohledu provedení měřidla se nabízí více variant řešení jednotlivých částí. Tyto varianty budou probrány jen rámcově v následujících kapitolách podle shodnosti jednotlivých konstrukčních celků. Podrobnější popis výroby měřidla vychází z technologického postupu kapitola 7.6.

7.1 Varianty zhotovení měřidla

Při návrhu zhotovení měřidla vyvstal požadavek jakým způsobem zajistit výrobu jednotlivých celků z hlediska dosažení požadované přesnosti, technické náročnosti a efektivity výrobního procesu. Nabízejí se 2 varianty řešení.

7.1.1 Varianta A

Varianta A vychází z úpravy vhodného digitálního posuvného měřidla, které se z hlediska konstrukce a užitých vlastností nejvíce podobá návrhu. Tímto měřidlem je digitální posuvné měřidlo řady 110 – 15DHK podle katalogového označení firmy Unimetra s.r.o. (obr.7.2).



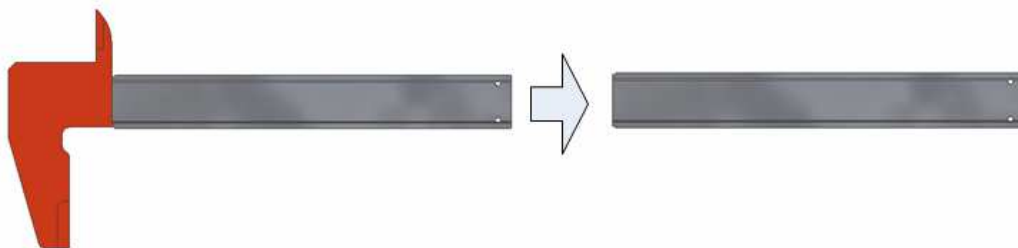
Obr. 7.2 Posuvné měřidlo 110 – 15DHK [12]

Měřidlo splňuje požadavky z hlediska použití:

- a) posuvnice (použitý materiál, měřicí rozsah, vedení),
- b) vyhodnocovací jednotky (zabezpečuje požadovanou přesnost měření, odečítání hodnot),
- c) posuvné části (použitý materiál, vedení, návaznost na ostatní prvky),
- d) čtecího pásku pro snímání hodnot

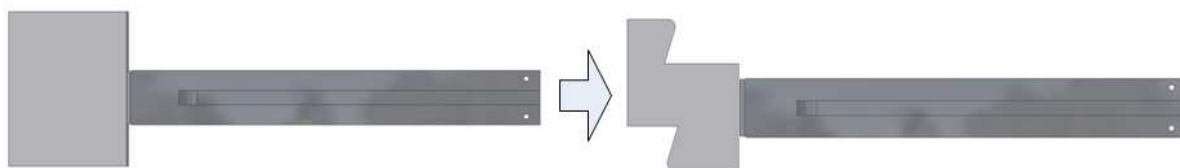
Úprava základní pevné části měřidla

Základní pevnou část posuvného měřidla tvoří posuvnice s hlavním a vedlejším ramenem. Varianta A předpokládá úpravu tohoto celku způsobem, kde by byly odstraněny stávající ramena podle obr.7.3 a posuvnice by byla zkrácena na požadovanou délku.



Obr.7.3 Odstranění ramen ze stávajícího měřidla

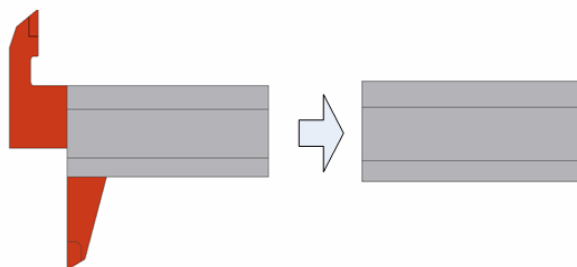
V následující operaci by byla posuvnice svařena s plochou tyčí pro zhotovení čelisti. Po svařování by byla provedena úprava sváru broušením a kontrola přímosti profilu v důsledku pnutí, které mohou způsobit změnu tvaru. Případná nerovnost by byla odstraněna rovnáním. Dalším krokem by bylo obrábění profilu pevné čelisti s přídavkem na broušení funkčních ploch (obr.7.4). Způsob obrábění by byl realizován technologií elektrojiskrového drátového řezání. Konečnou operací by bylo povrchové kalení čelisti a následné přebroušení hlavních ploch na požadované rozměry v předepsané kvalitě.



Obr.7.4 Svaření destičky a posuvnice (vlevo), obrobení profilu čelisti (vpravo)

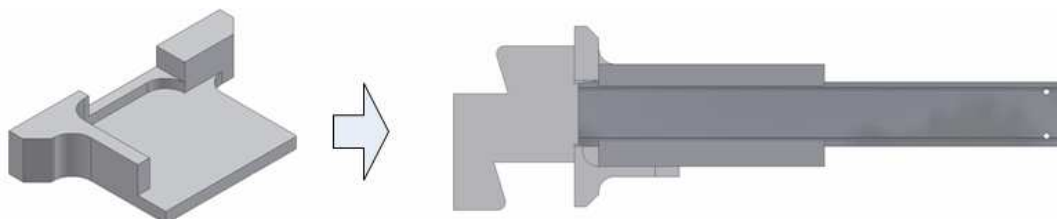
Úprava posuvné části měřidla

Posuvná část měřidla je tvořena vodící částí, hlavním a vedlejším ramenem. Podobně jako u posuvnice by bylo nutné stávající ramena odstranit (obr. 7.5). Po oddělení ramen by následovalo zabroušení ploch, pro zaručení kolmosti vzhledem k hlavní vodící rovině.



Obr.7.5 Odstranění ramen z jezdce

Následovala by předmontáž měřidla, kde by byla posuvná část nasazena na posuvnici a zajištěna pro vymezení polohy vodících ploch. V další operaci by byla k jezdci přilepena nová čelist pomocí dvousložkového pryskyřicového lepidla v poloze obr.7.6. Po dobu vytvrdnutí lepidla by byly obě čelisti v kontaktu pro zaručení požadované kolmosti, kterou lze odvodit od pevné čelisti. V poslední fázi by byly provedeny dokončovací operace, montáž a kalibrace měřidla.



Obr.7.6 Přilepení nové čelisti k vodící části jezdce pro zajištění kolmosti

Úprava čtecího pásku

Z hlediska použití vyhodnocovací jednotky by byla nutná úprava čtecího pásku. Pásek by byl zkrácen na požadovanou délku podle upravené posuvnice a znova přilepen v drážce vedení.

Výhody varianty A

Mezi hlavní výhody patří:

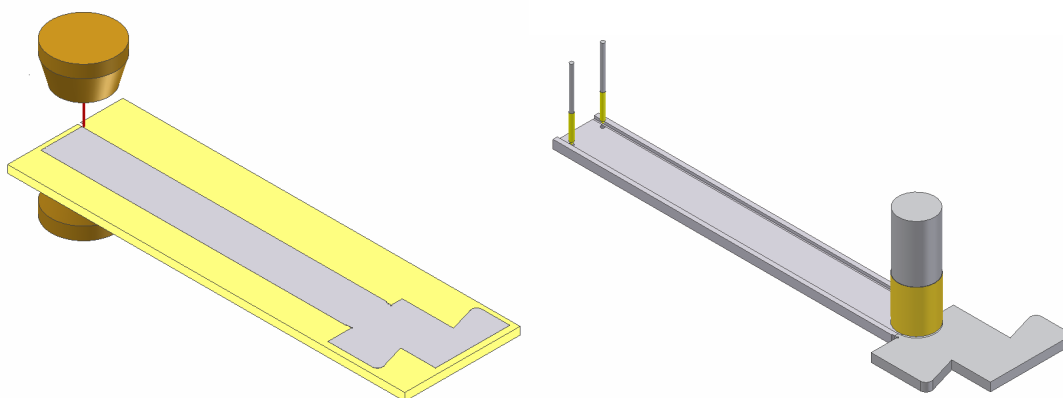
- varianta umožňuje zhotovit speciální měřidlo v podmínkách kusové výroby, v optimálním počtu technologických operací,
- současné využití všech částí posuvného měřidla,
- zkrácení doby návrhu a výroby nového typu měřidla,
- rozšíření funkce měřidla o měření hloubkových rozměrů (podle přání zákazníka).

7.1.2 Varianta B

Varianta B vychází z návrhu a výroby nových mechanických částí měřidla. Oproti předchozímu způsobu provedení se očekává sériová výroba. Z tohoto důvodu je nutné přizpůsobit konstrukci jednotlivých komponentů tak, aby z hlediska výroby byla co nejjednodušší s minimálním počtem operací, které by zbytečně prodražili náklady na zhotovení.

Realizace pevné části měřidla

Výchozím materiálem pro zhotovení pevné části měřidla by byl nerezový válcovaný plech, požadovaných rozměrů a vlastností. Základní profil pevné části by se zhotovil pomocí technologie laserového řezání s přídavkem na broušení funkčních a vodících ploch. V následující operaci by bylo provedeno zhotovení drážky pro uložení měřicího pásku a vrtání otvorů pro uchycení koncové destičky na posuvnici. Sled těchto operací je zachycen na obr. 7.7.



Obr 7.7 Řezání základního profilu pevné části (vlevo), frézování drážky čtecího pásku, vrtání otvorů (vpravo)

Po dokončení první fáze obrábění by bylo provedeno tepelné zpracování, podle rozsahu a vlastností použitého materiálu. Následovala by kontrola přímosti profilu. Případné zakřivení, které může projevit v důsledku tepelného zpracování, by se odstranilo rovnáním.

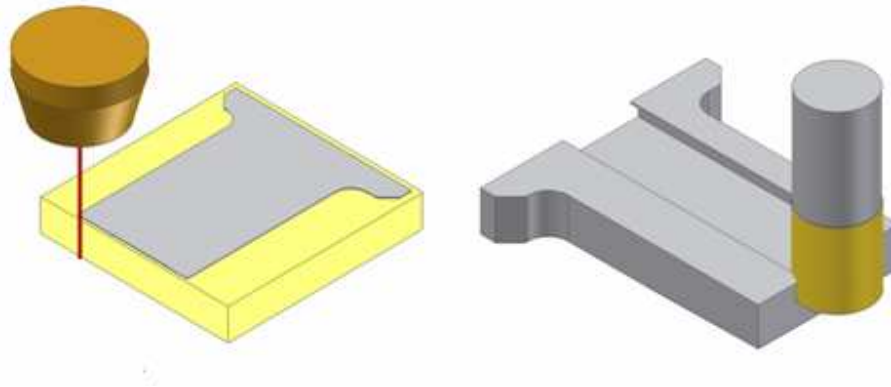
V druhé fázi obrábění by bylo provedeno broušení všech hlavních a vodících ploch hotově. Součást by byla připravena k montáži.

Realizace posuvné části měřidla

Varianta výroby posuvné části měřidla vychází z podobného sledu technologických operací jako v předchozím případě. Výchozím materiálem pro zhotovení součásti by byl válcovaný nerezový plech. Rozměry polotovaru a velikosti přídavků by byly stanoveny na základě přesných rozměrů součásti.

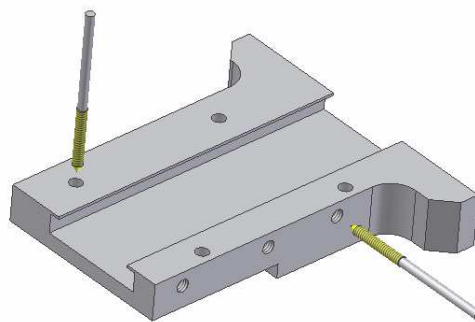
Obrysový tvar posuvné části navrhuji zhotovit laserovým řezáním s přídavkem na broušení. Následujícím krokem by bylo zhotovení vodící drážky ve dvou operacích. V první operaci by se vyfrézovala základní průběžná drážka. Poté by součást putovala

na protahovací stroj, kde by s použitím speciálního protahovacího nástroje došlo k dokončení drážky. Základní sled operací laserové řezání – frézování je zachycen na obr. 7.8



*Obr 7.8 Řezání základního profilu posuvné části (vlevo),
frézování vidící drážky (vpravo)*

Po dokončení protahování by následovalo tepelné zpracování. Dotyková plocha měřidla by byla povrchově kalena za účelem zvýšení tvrdosti ploch. Poté by bylo realizováno vrtání otvoru a řezání závitů (obr.7.9), pro účely uchycení vyhodnocovací jednotky, aretačního šroubu a polohovatelných šroubů vymezujícího pásku.



Obr. 7.9 Vrtání otvorů, řezání závitů

V následující operaci by bylo provedeno broušení všech hlavních a funkčních ploch nahotovo.

Úprava čtecího pásku

Konstrukce měřidla by vyžadovala úpravu čtecího pásku způsobem, kde by byl pásek sestříhnut ze strany čelisti do profilu kopírujícího stopu po drážkovacím nástroji (obr.7.10). V tomto případě nelze použít rovné zakončení pásku z důvodu zaručení rozsahu měření a zabezpečení správného kontaktu měřící čelisti.



Obr. 7.10 Úprava pásku do profilu drážky

Výhody varianty

Mezi hlavní výhody patří:

- zjednodušení konstrukce, snížení počtu technologických operací na zhotovení pevné části měřidla,
- zvětšení délky vodící drážky, větší kompaktnost a tuhost posuvné části měřidla,
- příznivější sled technologických operací snižuje pracnost výroby a riziko výroby neshodných dílů.

7.2 Výběr vhodné varianty řešení

Na základě konzultace s pověřeným pracovníkem firmy Unimetra s.r.o. a porovnání obou variant řešení jsem dospěl k závěru, že obě varianty splňují požadavky z hlediska návrhu konstrukce a způsobu provedení jednotlivých komponentů.

Při rozhodování, kterou z variant výrobně upřednostnit, sehrály klíčovou roli následující okolnosti:

- současná poptávka na trhu s měřidly,
- ekonomická situace v oblasti výroby a oprav složených kol (očekávaný vývoj)
- rámcové porovnání nákladu na realizaci jednotlivé varianty,
- zpětný ohlas zákazníka ze zkušenostmi při prvotním užívání měřidla,



Ze získaných poznatků docházím k závěru, že v současné době je vhodnější realizace **varianty A** z důvodu:

- zavedení nového výrobku na trh s očekávaným ohlasem a postupným přechodem na sériový typ výroby (varianta B),
- při oslovení potenciálních zákazníků nevzešel požadavek okamžité potřeby sériové výroby měřidla,
- současná výhodnost nákupu digitálního měřidla 110 – 115DK, ekonomické zhodnocení viz. kapitola 10.2

7.3 Výkresová dokumentace

Zhotovení výkresové dokumentace se odvíjí od zvolené varianty řešení měřidla viz. kapitola 7.2. Na základě výběru varianty **A** navrhuji provedení nových komponentů a úpravu stávajících prvků měřidla podle následujících výkresů.

- pevná část – výrobní výkres příloha č.6,
- posuvná čelist – výrobní výkres příloha č.7,
- kontrolní měrka – výrobní výkres příloha č.8,
- plochá tyč – výrobní výkres příloha č.9,
- posuvnice – úprava výkres příloha č.10,
- posuvná část – úprava výkres příloha č.11.

7.4 Volba technického materiálu

Pro zhotovení nových částí měřidla, pevné a posuvné čelisti volím konstrukční materiál podle normy ČSN 41 7022. Jedná se o martenzitickou korozivzdornou kvalitní chromovou ocel, určenou pro součásti s vyšší pevností. Tato ocel je vhodná ke svařování elektrickým obloukem a v ochranných atmosférách plynů. Vyznačuje se dobrou odolností proti korozi, kterou je možné zlepšit vyleštěním povrchu. Dalšími užitými vlastnostmi je odolnost proti opalu a dobrá obrobitelnost. Chemické složení oceli a způsob tepelného zpracování viz. tab. 7.1. [13]



Tab.7.1 Chemické složení a tepelné oceli ČSN 41 7022

Chemické složení tavby [%]	C	Mn	Si	Cr	P	S
	0,16 až 0,25	max. 0,80	max. 0,70	12,0 až 14,0	max. 0,040	max. 0,030
Tepelné zpracování						
druh zpracování	kalení		popuštění		žihání	
teplota	1000 – 1050°C		650 – 750°C		800– 840°C	

Zhotovení kontrolní měrky volím z materiálu podle normy ČSN 41 4260. Materiálem je chromkřemíková ocel, kalitelná, určená pro výrobu pružin, ventilů a jiných strojních součástí. Tepelně zpracované plechy jsou vhodné pro rovinné součásti, vyžadující vysokou odolnost proti opotřebení. Ocel nelze svařovat ani tvarovat. Menší a střední součásti z plechu jsou dobře obrobitelné s třídou obrobitelnosti 11b. Chemické složení oceli a způsob tepelného zpracování viz. tab. 7.2. [14]

Tab.7.2 Chemické složení oceli ČSN 41 4260

Chemické složení tavby [%]	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	P	S
	0,50 až 0,60	0,50 až 0,80	1,30 až 1,60	0,50 až 0,70	max. 0,50	max. 0,30	max. 0,035	max. 0,035
Tepelné zpracování								
druh zpracování	kalení		popuštění		normalizační žihání			
teplota	840 –880°C		380 – 580°C		850– 890 °C			

7.5 Vyhodnocovací jednotka

Stávající vyhodnocovací jednotka posuvného měřidla řady 110 – 15DHK, vyhovuje všem technickým požadavkům a specifikacím, které jsou vyžadovány pro použití u nového měřidla. Pomocí základních funkcí jednotky je možné zkalibrovat měřidlo na jmenovitý rozměr kontrolní šablony (první měření), změřit rozměr šířky kotouče a přenést na obruč složeného kola. Jednotka může být připojena k počítači přes datový kabel 16 EXR OPTO R232 C k hlubší analýze získaných dat.

**Charakteristika vyhodnocovací jednotky**

- jednotka zajišťuje měření délkových rozměrů ve zvolených jednotkách v milimetrech s odečítáním po 0,01 mm nebo v palcích s krokem 0,005 inch,
- zobrazení číslic s velikostí 9 mm,
- práce v absolutním nebo inkrementálním režimu měření,
- funkce nulování hodnoty v libovolné poloze měřidla,
- součástí jednotky je rotační kolečko pro jemné nastavení rozměru a vyvození konstantního přitlaku při měření,
- stupeň ochrany jednoty IP – 65 dle DIN EN 60529 (prachuvzdorný odolávající stříkací vodě),
- baterie 1,55 V, typ SR 44 běžná životnost 12 měsíců,
- ovládací tlačítka jednotky,
 - ON / OFF – zapínání / vypínání (manuální i časové),
 - ZERO – nastavení nuly,
 - ABS / O – zobrazení aktuální hodnoty měřené hodnoty, která je ve vztahu k přednastavené hodnotě počátku měřicího rozsahu (normální režim) / nastavení nuly pro srovnávací měření,
 - MM / INCH – volba jednotek milimetry, palce.

7.6 Návrh technologického postupu výroby a kontroly měřidla

Formulář je upraven a doplněn pro potřeby této práce. Základní údaje stroje nástroje, pomůcky, řezné parametry a výrobní časy určí firma.

Technologický postup úpravy posuvnice				
Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
Příloha č.10	17 022	Posuvnice	-	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Demontáž	demontáž měřidla 110 - 15DHK (včetně odlepení měřicího pásu) ;	strojní zámečník	
2.	Frézování	upnout s vyložení; řezat posuvnici délka 217 ± 1 mm; frézovat zkosení 30°;	frézař	univerzální frézka
3.	Úprava	odjehlit otřepy; kontrola kolmosti; rýsovat osu pro polohu posuvnice;	strojní zámečník	



Technologický postup úpravy posuvné části				
Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
Příloha č.11	17 022	Posuvná část	-	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Demontáž	demontáž posuvné části měřidla;	strojný zámečnick	
2.	Frézování	upnout s vyložení, řezat délka 56 mm; frézovat na míru 5 – 0,2 mm dle výkresu	frézař	univerzální frézka
3.	Úprava	odjehlit otřepy; odmastit ; kontrola kolmosti;	strojný zámečnick	

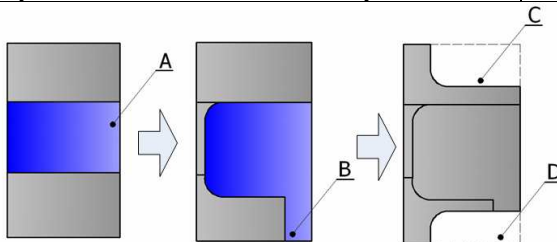
Technologický postup výroby ploché tyče				
Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
Příloha č.9	17 022	Plochá tyč	P4 - 35 x 50 ČSN 42 53 15.2	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Frézování	upnout, frézovat oboustranně (horní plocha, přepnout spodní plocha) tl.3,5 - 0,2 mm; zkosení 30°délka 30mm;	frézař	univerzální frézka
2.	Úprava	odjehlit otřepy; kontrola kolmosti; rýsovat osu pro polohu posuvnice;	strojný zámečnick	

Technologický postup výroby pevné části				
Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
Příloha č.6	17 022	Pevná část	-	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Příprava před svařováním	očistit; odmastit svarové plochy posuvnice a ploché tyče;	svářeč	svařovna
2.	Předehřev	předehřev na 250°C;	svářeč	kyslíko – acetylenový plamen
3.	Svařování	ustavit; svařit; po svaření zabránit rychlému ochlazování zabalením do ochranné dečky;	svářeč	svařovací agregát MIG
4.	Kontrola svařence	kontrola kolmosti, přímosti; rovnání; zabroušení svaru;	strojný zámečnick	
5.	Broušení	broušením upravit přechody z vedení na tvarovou část;	brusič	rovinná bruska
6.	Elektrojiskrově řezání	upnout; řezat tvarovou část hotově dle výkresu;	obráběč	elektrojiskrová řezačka
7.	Povrchové kalení	kalit funkční plochy na 52 ± 2 HRC;	kalič	kyslíko – acetylenový plamen



Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
8.	Kontrola	začistit funkční plochy; rozměrová kontrola tvarové části;	strojní zámečník	

Technologický postup výroby posuvné čelisti

Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
Příloha č.7	17 022	Posuvná čelist	P10 - 30 x 50 ČSN 42 53 15.2	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Frézování	upnout; frézovat na základní rozměry tl.8 - 20 x 56 ± 0,1mm s přídavkem na broušení čelisti; drážka 16,5 ± 0,1mm, dle obr.7.11 pozice A; kapsa čelisti pozice B; vybrání C,D hotově; srazit hrany 3 x 45°;	frézař	CNC frézka
 <p>Obr 7.11 pořadí frézování vybrání</p>				
2.	Úprava	odjehlit otřepy;	strojní zámečník	
3.	Povrchové kalení	kalit funkční plochu na 52 ± 2 HRC;	kalič	kyslíko – acetylenový plamen
4.	Bruska	upnout; brousit čelo	brusič	bruska na plocho
5.	Kontrola	začistit funkční plochu; rozměrová kontrola	strojní zámečník	

Technologický postup výroby kontrolní měrky

Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
Příloha č.8	14 260	Kontrolní měrka	P3 - 45 x 130 ČSN 42 5301.21	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Tepelné zpracování	ohřev na 800 – 830°C; kalit do oleje na 52 ± 2 HRC; popustit při 400 - 580 °C	kalič	kalící pec
2.	Broušení	upnout na magnet, brousit (horní plocha, přepnout spodní plocha) rozměr 3,5 + 0,5mm	brusič	bruska na plocho
3.	Elektrojiskrově řezání	upnout; řezat tvarovou část hotově dle výkresu;	obráběč	elektrojiskrová řezačka



Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
4.	Úprava	začistit plochy, kontrola rozměrů	strojní zámečnick	
5.	Gravírování	gravírovat identifikační znaky dle výkresu	strojní zámečnick	značící stroj

Technologický postup montáže měřidla				
Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
-	-	Montáž měřidla	.	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Montáž		strojní zámečnick	
1.1.	Montáž vedení	upravit měřicí pásek na rozměr; odmastit; lepit pásek do vedení posuvného měřidla		
1.2.	Montáž posuvné části	lepit posuvnou část s posuvným dotekem, vzájemně ustavit s vedením pro zaručení kolmosti k tvarové části		
1.3.	Montáž elektroniky	upevnit vyhodnocovací jednotku k posuvné části měřidla		
2.	Gravírování	gravírovat identifikační znaky dle výkresu	strojní zámečnick	značící stroj
3.	Kontrola	kontrola rozměrů a funkčnosti měřidla	strojní zámečnick	

Kontrolní postup sestavy digitálního měřidla a kontrolní měrky				
Výkres	Materiál	Název	Rozměr polotovaru	Datum
-	-	Kontrolní postup	.	16.3.2009
Číslo op.	Název operace	Popis práce	Profese	Zařízení
1.	Kontrola kontrolní měrky	kontrola rozměrů $100 \pm 0,01$ a úhlů $73^{\circ}18'$	kontrolor	kontrolní mikroskop
2.	Kontrola digitál. měřidla		kontrolor	
2.1		kontrola přesnosti odměřování		koncové měrky
2.2.		kontrola přesnosti tvarové části		kontrolní měrky

Zhotovení prototypu měřidla

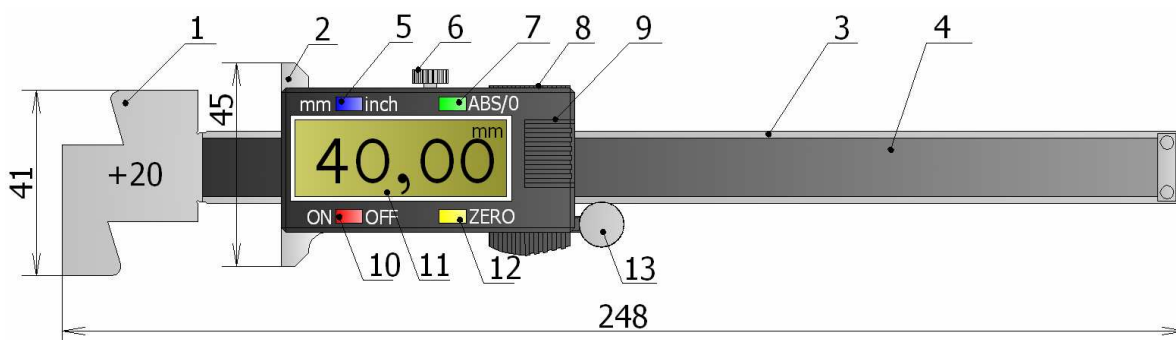
Na základě dodaných vstupních podkladů výkresové dokumentace a návrhu postupu výroby měřidla firma Unimetra zajistila zhotovení prototypu měřidla včetně kontrolní měrky.

8 Návrh technických dodacích podmínek

Technické dodací podmínky vymezují základní oblast práce a zacházení s měřidlem zahrnují technické specifikace měřidla a základní návod k používání.

Popis měřidla

Měřidlo je určeno pro odměřování šířky věnců hvězdicových nebo monoblokových složených železničních kol a k přenášení naměřeného rozměru na obruče. Popis základních částí měřidla (obr.8.1).



Obr. 8.1 Základní popis měřidla

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| 1. Pevná čelist | 8. Datový vstup |
| 2. Posuvná čelist | 9. Baterie typ SR 44 |
| 3. Posuvnice | 10. Tlačítko ON / OFF |
| 4. Čtecí pravítko s ochranou páskou | 11. Displej (LCD) |
| 5. Tlačítko mm / inch | 12. Tlačítko ZERO |
| 6. Aretační šroub | 13. Kolečko jemného stavění |
| 7. Tlačítko ABS / 0 | |

Technické data

Měřicí rozsah:	20 – 150 mm
Rozlišení:	0,01 mm nebo 0,005 inch
Maximální chyba:	± 0,03 mm
Přesnost měření:	± 0,05 mm
Max. rychlost posuvu:	1,5 m.s ⁻¹
Pracovní teplota:	5 až 60 °C
Skladovací teplota:	5 až 60 °C
Maximální vlhkost:	80 %
Display:	LCD , zobrazuje 5 čísel a znaménko “-,”
Materiál	nerezová ocel
Přenos dat	Datový výstup pro připojení k PC přes port RS 232

Obsah kazety

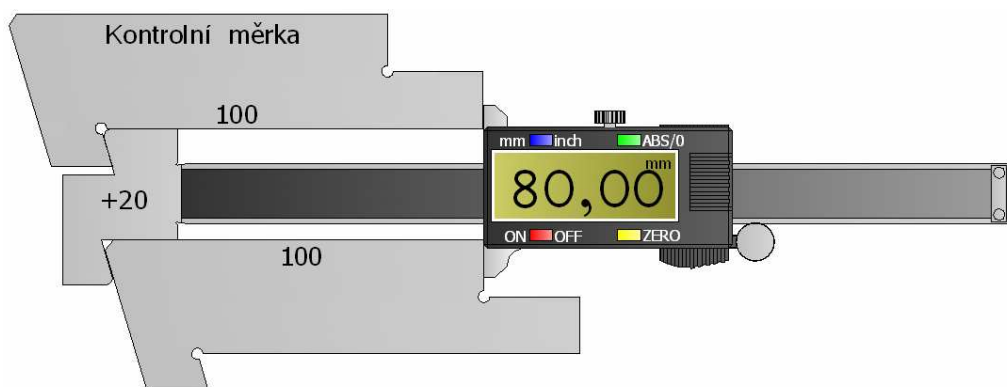
- měřidlo,
- kontrolní šablona.

Obsluha a údržba

- Měřidlo udržujte čisté a suché, v ochranné kazetě.
- Při kolísání intenzity LCD display vymňte baterii.
- Před prvním měřením, měřidlo vždy vynulujte a ověřte jmenovitý rozměr pomocí kontrolní šablony.
- Nevystavujte měřidlo účinkům elektrického a elektromagnetického záření.
- Chraňte před plamenem a účinky tepelného sálání.
- Zacházejte s měřidlem šetrně, chraňte před vniknutím cizího tělesa a účinkům vnějších sil.

Kontrola a nastavení měřidla pomocí kontrolní měrky

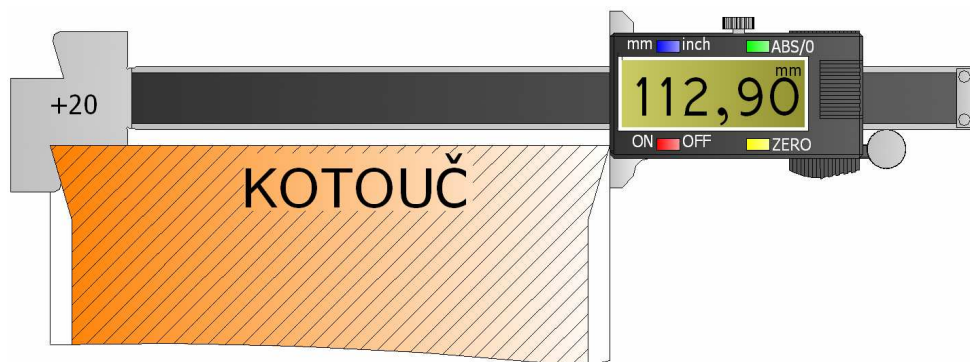
1. Zapněte měřidlo prostřednictvím klávesy „ON / OFF“, rozsvítí se display.
2. Nastavte výchozí jednotky v mm stisknutím klávesy „mm / inch“, aktuální zobrazení jednotek se rozsvítí v pravém horním rohu displeje.
3. Přestavte jezdec do polohy tak, aby pevná a posuvná čelist na sebe dolehly, stisknutím klávesy „ZERO“ provedete nulování.
4. Ověřte základní rozměry funkčních ploch měřidla dle obr.8.2
5. Nezapomeňte přičíst k zobrazenému výsledku +20 mm.



Obr.8.2 Kontrola a nastavení měřidla pomocí kontrolní měrky

Měření kotouče složeného kola

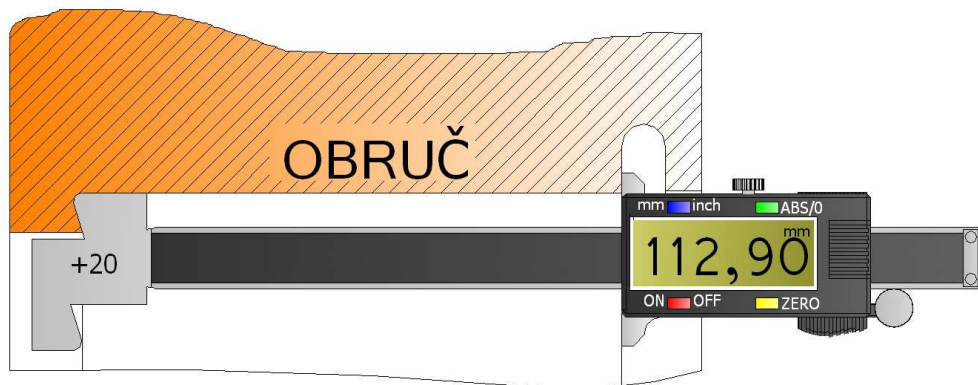
1. Provedte kontrolu nastavení měřidla před prvním měřením.
2. Měřte šířku kotouče podle obr.8.3, nezapomeňte přičítat hodnotu +20 mm.



Obr.8.3 Měření kotouče složeného kola

Měření obruče složeného kola

1. Provedte kontrolu nastavení měřidla před prvním měřením.
2. Měřte šířku obruče podle obr.8.4, nezapomeňte přičítat hodnotu +20 mm.



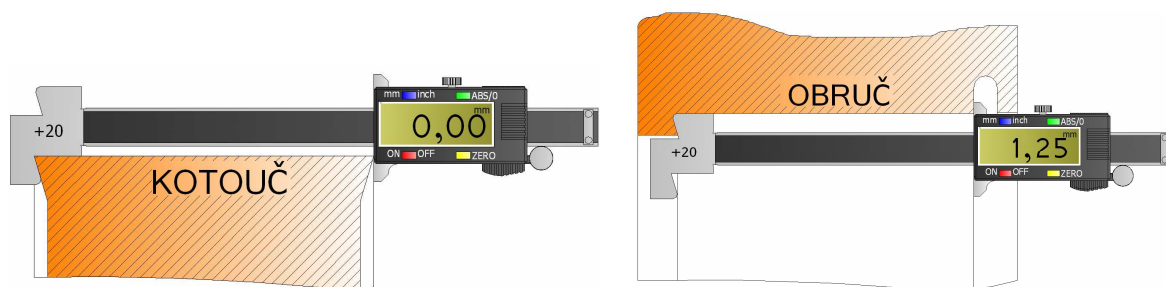
Obr.8.4 Měření obruče složeného kola

Přenášení rozměru kotouče na obruč složeného kola

1. Provedte kontrolu nastavení měřidla před prvním měřením.
2. Změřte šířku kotouče a ponechte měřidlo v poloze získané hodnoty.
3. Stisknutím tlačítka „ABS / 0“ se jednotka přepne do komparativního režimu měření a můžete měřit rozdíl od referenční hodnoty.



4. Přenesením rozměru z kotouče na obruč, lze na displeji ihned zjistit odchylky od referenční hodnoty. Na obr.8.5 je v levé části, zobrazena změřená šířka kotouče s referenční nulou, vpravo přenesený rozměr se zjištěnou odchylkou.



Obr.8.5 Přenesení rozměru kotouče na obruč složeného kola



9 Výpočet nejistot měření při kalibraci měřidla

Výpočet nejistot se provádí za účelem zjištění metrologických vlastností měřidla. Výsledkem procesu měření je naměřená hodnota, která nemusí odpovídat skutečné hodnotě. Měřením je získáván pouze odhad skutečné hodnoty, protože měření je ovlivněno např. měřidlem, proměnnými podmínkami okolí, nedokonalostí metody měření, atd. Výsledek měření se tedy stanovuje s určitou nejistotou měření.

9.1 Teoretická část výpočtu nejistot měření

Nejistota měření je parametr charakterizující interval hodnot kolem výsledku měření, který můžeme odůvodněně přiřadit k hodnotě měřené veličiny. Nejistota měření zjištěná při kalibraci je základem pro zjištění nejistot měření ve výrobě a kontrole. Vyjádření výsledku měření je úplné pouze tehdy, pokud výsledek obsahuje hodnotu měřené veličiny a příslušnou nejistotu patřící této hodnotě.

Při určování nejistoty měření se vychází z pravděpodobnostního principu, který předpokládá, že nejistota měření pokryje skutečnou hodnotu s předpokládanou pravděpodobností. [15]

Nejistota měření je způsobena nejrůznějšími vlivy, které ovlivňují celkovou přesnost měření. Tyto vlivy pak tvoří jednotlivé složky výsledné nejistoty daného měření. Při odhadu hodnot vstupních veličin se stanoví buď postupem pro stanovení nejistoty typu A nebo postupem pro stanovení nejistoty typu B. [16]

Stanovení nejistoty typu A

Postup pro stanovení nejistoty typu A je založen na stanovení nejistoty statistickou analýzou série pozorování. V tomto případě je standardní nejistota výběrovou směrodatnou odchylkou průměrů, dle vztahu (9.1). Hodnota nejistoty typu A s rostoucím počtem měření klesá. [16]

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} \quad (9.1)$$



Kde: u_A – standardní nejistota typu A,
 $s(\bar{x})$ – výběrová směrodatná odchylka,
 n – počet měření,
 x_i – naměřená hodnota,
 \bar{x} – výběrový průměr jednotlivých vstupních veličin při n měřeních.

Stanovení nejistoty typu B

Postup pro stanovení standardní nejistoty typu B je založen na stanovení nejistoty vztahující se k odhadu vstupní veličiny, jiným způsobem než statistickou analýzou série pozorování. Příslušná standardní nejistota typu B je určena odborným úsudkem na základě všech dostupných informací o variabilitě dané veličiny. Nejistoty náležící do této kategorie mohou být odvozeny na základě: [16]

- údajů z dřívějších měření,
- zkušenosti s chováním a vlastnostmi příslušných materiálů a zařízení,
- údajů od výrobce,
- fyzikální konstanty používané při výpočtu výsledné uváděné hodnoty,
- vlivů prostředí, které nemohou být statisticky vyšetřeny,
- možné odlišnosti v uspořádání měřidel a realizaci měřicího procesu,
- nedostatek rozlišovací schopnosti měřidla,
- kalibračních listů, kalibračních certifikátů a publikovaných zpráv o nejistotách,

Standardní nejistota typu B je tedy dána geometrickým součtem nejistot způsobených jednotlivými vlivy, ze vztahu 9.2. [16].

$$u_B^2 = u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + \dots + u_{Bm}^2 \quad (9.2)$$

Kde: u_B – standardní nejistota typu B
 u_{B1}, u_{Bm} – standardní nejistoty různých zdrojů
 m – počet zdrojů nejistot



Při výpočtech nejistot je nutné u jednotlivých zdrojů odhadnout rozsah odchylek od jmenovité hodnoty. Maximální velikost odchylky se stanoví tak, aby překročení intervalu bylo co nejméně pravděpodobné. Následujícím krokem je volba rozdělení pravděpodobnosti výskytu hodnot odchylek. Na základě zvoleného rozdělení pravděpodobnosti se vypočte standardní nejistota typu B od určitého zdroje.

Je-li pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu vyšší než výskyt hodnot v krajním intervalu, použijeme normální rozdělení. V případě, že rozdělení pravděpodobností odchylek je přibližně stejné nebo je není možné zodpovědně posoudit, předpokládá se stejná hodnota pravděpodobnosti pro všechny odchylky a proto volíme rovnoměrné rozdělení. [17]

Nejistota typu B od různých zdrojů za předpokladu rovnoměrného rozdělení se vypočte ze vztahu 9.3. [16]

$$u_{BR} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot a \quad (9.3)$$

Kde: a – maximální chyba daného zdroje nejistoty
 u_{BR} – standardní nejistota typu B pro rovnoměrné rozdělení

Nejistota typu B od různých zdrojů za předpokladu normálního rozdělení se vypočte ze vztahu 9.4. [16]

$$u_{BN} = \frac{U_{95}}{2} \quad (9.4)$$

Kde: u_{BN} – standardní nejistota typu B pro normální rozdělení
 U_{95} – 95 % nejistota kalibrace v kalibračním listu

Kombinovaná standardní nejistota

Kombinovaná standardní nejistota u_C je kladnou druhou mocninou ze součtu kvadrátu standardních nejistot u_A a u_B , vypočte se ze vztahu 9.5. [15]

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (9.5)$$



Kde: u_A – standardní nejistota typu A
 u_B – standardní nejistota typu B

Rozšířená kombinovaná nejistota

Standardní kombinovaná nejistota u byla určena s pravděpodobností $P = 68\%$. To je pravděpodobnost pro koeficient rozšíření $k = 1$. Pro jinou pravděpodobnost se nejistota přepočte vynásobením koeficientem rozšíření k , ze vztahu 9.6.[16]

$$U_C = k_U \cdot u_C \quad (9.6)$$

Kde: k – koeficient rozšíření

V praxi se uvádí nejistota výsledku měření rozšířená koeficientem $k = 2$, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Tento postup stanovení nejistot vychází z předpokladu, že vstupní veličiny nejsou korelované a jedná se o přímé měření.[16]

Ve výsledku je nutné vypsát i nulové hodnoty, pokud jsou významné. Výsledek měření se vyjadřuje potom následujícím způsobem: [16]

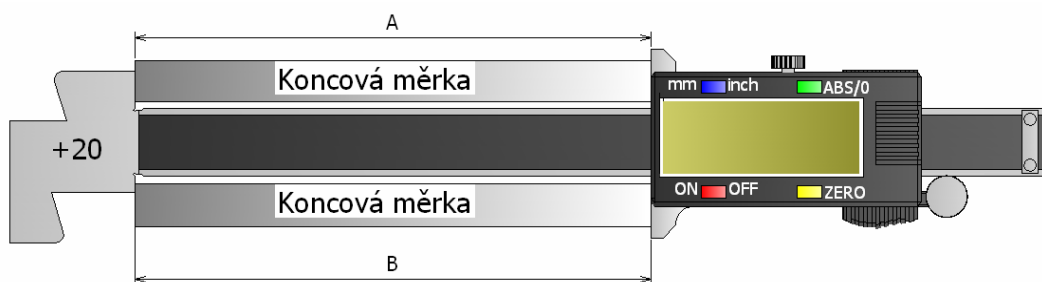
$$\bar{x} = (x \pm U_C) \quad (9.7)$$

Kde: \bar{x} – výběrový průměr
 U_C – rozšířená kombinovaná nejistota

9.2 Stanovení nejistot při kalibraci stupnice digitálního měřidla

Postup kalibrace stupnice měřidla

Kalibrace stupnice digitálního měřidla, byla prováděna prostřednictvím setinových koncových měrek. Kontrolní měrky jednotlivých jmenovitých rozměrů byly postupně vkládány mezi pevnou a posuvnou čelist v polohách viz.obr.9.1 (vždy pouze jedna měrka) v rozsahu celé délky posuvnice. Pro zajištění rozsahu stupnice bylo použito 10 koncových měrek různé jmenovité hodnoty.



Obr. 9.1 Kalibrace stupnice měřidla koncovými měrkami

A – kontrola mezi horními doteky, B – kontrola mezi dolními doteky

Kontrola stupnice měřidla byla provedena vždy 10x na straně A i na straně B. Získané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 9.1 a 9.2.

Tab.9.1 Naměřené hodnoty při kontrole stupnice na straně A

Číslo měření	Jmenovitý rozměr koncové měrky[mm]	Naměřené hodnoty rozměrů A v [mm]									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,08	1,06	1,07	1,07	1,06	1,05	1,06	1,07	1,05	1,06	1,06
2	5	4,99	5	5	4,99	4,99	5	5	5	4,99	4,98
3	10	9,99	9,99	9,99	9,98	9,98	9,99	9,97	9,98	9,99	9,98
4	20	19,99	19,99	20	19,98	19,99	19,99	20	19,98	19,98	19,99
5	30	29,99	29,99	29,99	29,98	29,99	29,98	29,99	29,98	29,99	29,97
6	41,3	41,29	41,28	41,28	41,28	41,27	41,28	41,29	41,29	41,28	41,29
7	70	69,97	69,96	69,98	69,96	69,97	69,98	69,98	69,98	69,97	69,97
8	80	79,97	79,98	79,97	79,98	79,98	79,97	79,98	79,97	79,96	79,98
9	100	99,97	99,98	99,96	99,97	99,98	99,97	99,98	99,98	99,98	99,97
10	131,4	131,37	131,38	131,38	131,38	131,38	131,37	131,38	131,36	131,38	131,37

Tab. 9.2 Naměřené hodnoty při kontrole stupnice na straně B

Číslo měření	Jmenovitý rozměr koncové měrky[mm]	Naměřené hodnoty rozměrů B v [mm]									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,08	1,07	1,06	1,05	1,06	1,06	1,05	1,05	1,05	1,06	1,06
2	5	4,99	4,98	4,98	4,99	4,99	4,98	4,99	4,97	4,99	4,98
3	10	9,98	9,99	9,97	9,98	9,99	9,98	9,98	9,98	9,99	9,98
4	20	19,98	19,99	19,99	19,99	19,99	19,98	19,99	20	19,99	20
5	30	29,99	29,98	29,99	29,99	29,98	29,99	29,98	29,99	29,98	29,97
6	41,3	41,28	41,28	41,3	41,28	41,28	41,29	41,28	41,29	41,29	41,28
7	70	69,98	69,99	69,98	69,99	69,99	69,99	69,99	69,99	69,98	70
8	80	79,98	79,99	79,98	79,98	80	79,98	79,99	79,99	79,98	79,99
9	100	99,98	99,99	99,99	99,98	99,99	99,97	99,99	99,99	99,99	99,98
10	131,4	131,38	131,39	131,39	131,38	131,39	131,38	131,39	131,4	131,39	131,38

Použité měřicí pomůcky:

Koncové měrky SOMET – setinové
Číslo etalonu: 001.0249
ČSN EN ISO 3650

Koncové měrky SOMET - setinové
Číslo etalonu: 001.0251
ČSN EN ISO 3650

Podmínky v laboratoři:

Teplota: (20,1±0,5)°C
Vlhkost: 50%

Výpočet algoritmu nejistot při kalibraci stupnice digitálního měřidla

Výpočet nejistoty měření stupnice byl zpracován pro každou hodnotu použité koncové měrky. Z důvodu velkého počtu zpracovaných hodnot uvádím příklad výpočtu pro měření č.1 z tab.9.1. Výsledky výpočtu všech zúčastněných měrek jsou zpracovány v příloze č.1.

1 Stanovení nejistoty typu A

Prvním krokem výpočtu je přepočtení odchylek naměřených hodnot (tab.9.3). Odchyly, vznikly rozdílem jmenovité a naměřené hodnoty, slouží jako zdroj pro určení nejistoty typu A.

Tab.9.3 Stanovení odchylek naměřených hodnot [mm]

Počet měření n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jmenovitá hodnota	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Naměřená hodnota	1,06	1,07	1,07	1,06	1,05	1,06	1,07	1,05	1,06	1,06
Odchylka naměřené hodnoty x_i	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02

Následujícím krokem je vyjádření průměrné hodnoty odchylek (výpočet uvádím v μm).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$
$$\bar{x} = \frac{1}{10} \cdot 190 = 19 \quad [\mu\text{m}]$$

Výpočet nejistoty typu A vychází ze vztahu 7.1.

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{490}{10 \cdot (10-1)}} = 2,333 \quad [\mu\text{m}]$$



2 Stanovení nejistoty typu B

Výpočet nejistoty typu B byl proveden na základě vytypování nejdůležitějších zdrojů nejistot. Způsob určování zdrojů nejistot vychází z rozboru teoretické části kapitola 9.1. a z postupu výpočtů nejistot posuvných měřidel v laboratoři firmy Unimetra.

Vytypované zdroje nejistoty typu B:

- chyba použitých koncových měrek,
- nejistota kalibrace etalonu – koncové měrky V.řád,
- nejistota odchylky teploty digitálního měřidla a koncové měrky,
- nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C,
- nejistota odečtu na stupnici měřidla,
- nejistota Abbého chyby a dosednutí koncové měrky na doteky,

2.1 Chyba použitých koncových měrek

Při měření byly použity koncové měrky 2.třídy přesnosti. Norma ČSN ISO EN 3650 připouští pro měrky velikosti 0,5 až 10 mm dovolenou odchylku délky v libovolném bodě 0,45 μm. Příspěvek k nejistotě se vypočte za předpokladu rovnoměrného rozložení pravděpodobnosti podle vztahu 9.3.

$$u_{B1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 0,45 = 0,260 \quad [\mu m]$$

2.2 Nejistota kalibrace etalonu – koncové měrky V.řád

Nejistota kalibrace etalonu koncových měrek V.řádu (vychází z kalibračního lisu) je dána vztahem $U_L = (0,5 + 5L)$, kde L je délka koncové měrky vyjádřena v metrech, za předpokladu normálního rozložení pravděpodobnosti. Pro jmenovitou hodnotu koncové měrky JR = 1,08 mm se příspěvek k nejistotě vypočte podle vztahu 9.4, kde U_{95} je rovno U_L .

$$u_{B2} = \frac{0,5 + 5 \cdot 0,00108}{2} = 0,253 \quad [\mu m]$$



2.3 Nejistota odchylky teploty digitálního měřidla a koncové měrky

Nejistota odchylky teploty se určuje na základě teplotního rozdílu mezi měřidlem a koncovou měrkou. V podmínkách laboratoře firmy Unimetra se uvažuje konstantní teplotní rozdíl $\delta_T \pm 0,5^\circ\text{C}$. Dalším parametrem, který ovlivňuje příspěvek nejistoty je koeficient citlivosti. Koeficient citlivosti zohledňuje vliv teplotní roztažnosti měrky a měřidla ve vztahu k měřené délce. U měřidla a koncové měrky se uvažují shodné koeficienty tepelné roztažnosti pro ocel $\alpha_1 = \alpha_2 = 11,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \pm 1 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Nejistota se vypočte za předpokladu rovnoměrného rozložení pravděpodobnosti z rozšířeného vztahu. Délka rozměru měrky L se dosazuje v metrech.

$$u_{B3} = \frac{\delta_T}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cdot L$$
$$u_{B3} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} \cdot \frac{0,0000115 + 0,0000115}{2} \cdot 0,00108 = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ } [\mu\text{m}]$$

2.4 Nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C

Tato nejistota vzniká vlivem působení okolí, které přímo ovlivňuje roztažnost koncové měrky a měřidla. V laboratoři firmy Unimetra se uvažuje konstantní teplotní odchylka $\delta_{T20} \pm 1^\circ\text{C}$. Změna citlivosti hodnot koeficientů délkové roztažnosti je potom dána jejich rozdílem $\alpha_1 - \alpha_2 = 2 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. Příspěvek nejistoty se vypočte z rozšířeného vztahu za předpokladu rovnoměrného rozložení pravděpodobnosti.

$$u_{B4} = \frac{\delta_{T20}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\sqrt{3}} \cdot L$$
$$u_{B4} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{3}} \cdot 0,00108 = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ } [\mu\text{m}]$$

2.5 Nejistota odečtu na stupnici měřidla

Nejistota odečtu na stupnici pro digitální posuvná měřidla s dělením 0,01 mm stanovena odhadem $\pm 10 \text{ } \mu\text{m}$. Příspěvek nejistoty se vypočte ze vztahu 9.3 s předpokladem rovnoměrného rozložení pravděpodobnosti.



$$u_{B5} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 10 = 5,774 \quad [\mu m]$$

2.6 Nejistota Abbého chyby a dosednutí koncové měrky na doteky

Nejistota Abbého chyby a dosednutí koncové měrky na doteky je stanovena odhadem $\pm 10 \mu m$. Příspěvek k nejistotě se vypočte za předpokladu rovnoměrného rozložení pravděpodobnosti podle vztahu 9.3.

$$u_{B6} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 10 = 5,774 \quad [\mu m]$$

Výpočet standardní nejistoty typu B

Výpočet standardní nejistoty B vychází z geometrického součtu jednotlivých příspěvků nejistot pod odmocninou. Výpočet vychází z úpravy vzorce 9.2.

$$u_B = \sqrt{0,260^2 + 0,253^2 + (3,9 \cdot 10^{-3})^2 + (7,2 \cdot 10^{-3})^2 + 5,774^2 + 5,774^2}$$
$$u_B = 8,173 \quad [\mu m]$$

3 Výpočet standardní kombinované nejistoty

Kombinovaná standardní nejistota se vypočítá z nejistot u_A a u_B podle vztahu 9.5. Vypočtená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 68 %.

$$u_C = \sqrt{2,333^2 + 8,173^2} = 8,499 \quad [\mu m]$$

4 Výpočet rozšířené nejistoty

Pro potřeby technické praxe se uvádí nejistota s pravděpodobnost pokrytí 95 %. Proto je nutné standardní kombinovanou nejistotu rozšířit koeficientem $k = 2$. Výpočet vychází ze vztahu 9.6.

$$U_C = 2 \cdot 8,499 = 16,998 \quad [\mu m]$$

Na základě analogického postupu výpočtu, jsem získal zbývající hodnoty rozšířené nejistoty s pravděpodobností pokrytí 95 % u všech použitých koncových měrek při

kontrole stupnice na straně **A** i straně **B** (obr.9.1). Výsledky měření s uvedenými rozšířenými nejistotami jsou zpracovány v tab.9.4.

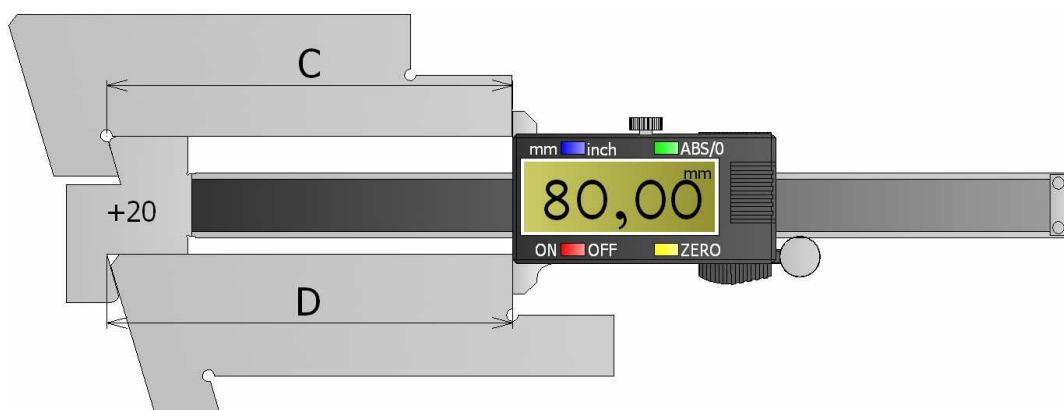
Tab.9.4 Výsledky měření

JR koncové měrky [mm]	Strana A		Strana B	
	Naměřená hodnota x [mm]	Rozšířená nejistota U [mm]	Naměřená hodnota x [mm]	Rozšířená nejistota U [mm]
1,08	1,061	0,016	1,057	0,016
5	4,994	0,016	4,984	0,016
10	9,984	0,016	9,982	0,016
20	19,989	0,016	19,999	0,016
30	29,985	0,017	29,984	0,016
41,3	41,283	0,016	41,285	0,016
70	69,972	0,017	69,988	0,016
80	79,984	0,017	79,986	0,017
100	99,974	0,017	99,985	0,017
131,4	131,375	0,017	131,387	0,017

9.3 Stanovení nejistot digitálního měřidla při měření kontrolní měrky

Postup kontrolního měření

Kontrola přesnosti měření digitálního měřidla byla ověřena prostřednictvím kontrolní měrky. Při kalibraci na základní rozměr bylo postupně provedeno 10 měření rozměru **C** a **D** způsobem zachyceným na obr.9.2. Naměřené hodnoty s připočtením jmenovité hodnoty tvarové části +20 mm jsou uvedeny v tab.9.5.



Obr. 9.2 Kalibrace měřidla na základní rozměr



Tab.9.5 Naměřené hodnoty rozměrů C, D [mm]

Počet měření n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rozměr C	100	100,01	100,02	100,01	100,01	100,02	100	100	100,01	100,02
Rozměr D	100,01	100,02	100	100	100	100	100	100,01	100,01	100

Podmínky v laboratoři:

Teplota: (20,1±0,5)°C

Vlhkost: 50%

Výpočet algoritmu nejistot digitálního měřidla při měření kontrolní měřky

Výpočet algoritmu nejistot digitálního měřidla při měření kontrolní měřky vychází z podobného sledu operací výpočtu, jako v kapitole 9.2. Pro příklad uvádím postup stanovení nejistoty při měření kontrolní měřky rozměru **C**. Výsledky výpočtu kalibrace rozměru **D** je zpracovány v příloze č.2.

1 Stanovení nejistoty typu A

Prvním krokem výpočtu je přepočítání odchylek naměřených hodnot (tab.9.6) a stanovení jejich průměrné hodnoty v μm .

Tab.9.6 Stanovení odchylek naměřených hodnot [mm]

Počet měření n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jmenovitá hodnota rozměru C	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Naměřená hodnota rozměru C	100	100,01	100,02	100,01	100,01	100,02	100	100	100,01	100,02
Odchylka naměřené hodnoty x_i	0	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0	0	0,01	0,02

Vyjádření průměrné hodnoty odchylek

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$
$$\bar{x} = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10 \quad [\mu\text{m}]$$

Výpočet nejistoty typu A vychází ze vztahu 7.1.

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{600}{10 \cdot (10-1)}} = 2,582 \quad [\mu\text{m}]$$



2 Stanovení nejistoty typu B

Vytypované zdroje nejistoty typu B:

- nejistota kalibrace délky kontrolní měrky,
- nejistota délky kontrolní měrky od jmenovitého rozměru,
- nejistota odchylky teploty digitálního měřidla a kontrolní měrky – příspěvek nejistoty je shodný viz. výpočet 2.3 kap. 9.2 $u_{B3} = 3,585 \cdot 10^{-3} \mu m$,
- nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C – příspěvek nejistoty vypočten viz. bod 2.4 kap. 9.2 $u_{B4} = 3,886 \cdot 10^{-3} \mu m$,
- nejistota Abbého chyby a dosednutí na tvarové plochy měrky – příspěvek nejistoty je shodný viz. bod 2.6 kap. 9.2 $u_{B5} = 5,774 \mu m$,
- nejistota odečtu na stupnici měřidla – příspěvek nejistoty vypočten viz. výpočet 2.5 kap. 9.2 $u_{B6} = 5,774 \mu m$.

2.1 Nejistota kalibrace délky kontrolní délky

Výpočet nejistoty kalibrace délkových rozměrů kontrolní měrky byl proveden v rámci ověření základních rozměrů. Postup výpočtu včetně výsledků je uveden v příloze č.4. Výstupní hodnotou je parametr $U_c = 6,624 \mu m$, který odpovídá 95 % pokrytí nejistoty pravděpodobnosti. Příspěvek k nejistotě se vypočte za předpokladu normálního rozdělení, podle vztahu 9.4.

$$u_{B1} = \frac{6,624}{2} = 3,312 \quad [\mu m]$$

2.2 Nejistota délky kontrolní měrky od jmenovitého rozměru

Nejistota délky kontrolní měrky od jmenovité hodnoty vychází z rozdílu teoretické a zprůměrnované hodnoty změřené délky. Parametr zdroje této nejistoty $a = 7,6 \mu m$, vychází z výpočtu, který je rovněž zpracován v příloze č.4. Příspěvek k nejistotě se vypočte za předpokladu rovnoměrného rozložení podle vztahu 9.3.

$$u_{B2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 7,6 = 2,533 \quad [\mu m]$$



Výpočet standardní nejistoty typu B

Výpočet standardní nejistoty B vychází z úpravy vztahu 9.2

$$u_B = \sqrt{3,312^2 + 2,533^2 + (3,585 \cdot 10^{-3})^2 + (3,886 \cdot 10^{-3})^2 + 5,774^2 + 5,774^2}$$
$$u_B = 9,174 \quad [\mu m]$$

3 Výpočet kombinované standardní nejistoty

Vypočtená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 68 %. Výpočet vychází ze vztahu 9.5.

$$u_c = \sqrt{2,582^2 + 9,174^2} = 9,531 \quad [\mu m]$$

4 Výpočet rozšířené nejistoty

Vypočtená nejistota odpovídá pravděpodobnosti pokrytí 95 %, pro k=2. Výpočet vychází ze vztahu 9.6.

$$U_c = 2 \cdot 9,531 = 19,062 \quad [\mu m]$$

Na základě analogického postupu výpočtu, jsem získal výslednou hodnotu rozšířené nejistoty $U_c = 19,626 \mu m$ při kalibraci druhého rozměru měřky **D** (obr.9.2).

9.4 Vyhodnocení výsledků měření

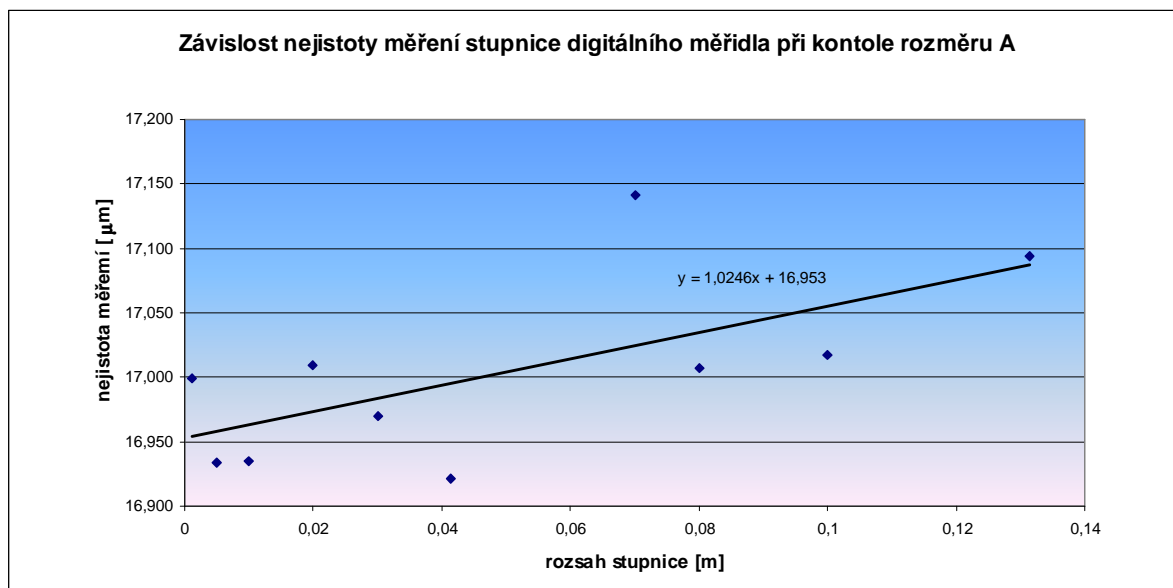
Vyhodnocení výsledků měření kalibrace stupnice digitálního měřidla

Vyhodnocení výsledků měření kalibrace stupnice digitálního měřidla bylo provedeno podle následujících kroků. Ze získaných hodnot měření rozměrů **A** z tab.9.1 a rozměrů **B** z tab.9.2 byly podle postupu výpočtového algoritmu (bod 1 až 4 kap.9.2) stanoveny rozšířené nejistoty pro 95% pokrytí pravděpodobnosti. Ze získaných hodnot měření v tab.9.4, byly v programu Microsoft Excel sestrojeny grafy obr.9.3 a obr.9.4, vyjadřující rozložení nejistoty v závislosti na měřené délce stupnice. Pomocí metody nejmenších čtverců byly stanoveny funkční závislosti mezi těmito relacemi. Z grafů jasně vyplývá, jak se zvětšuje parametr nejistoty s rostoucí délkou měření:

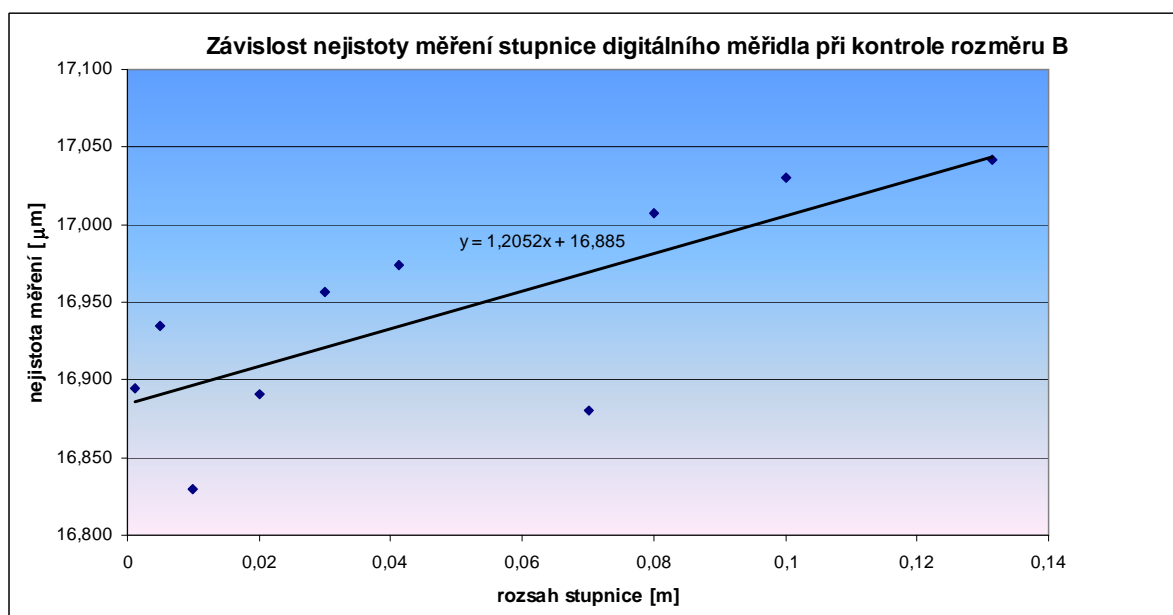


Je tedy možné konstatovat :

- nejistota měření stupnice při kontrole rozměru **A** se řídí podle vztahu
 $U_{95} = (16,95 + 1,02L) \mu\text{m}$, kde L měřená délka v metrech,
- nejistota měření stupnice při kontrole rozměru **B** se řídí podle vztahu
 $U_{95} = (16,89 + 1,20L) \mu\text{m}$, kde L měřená délka v metrech.



Obr. 9.3 Závislost nejistoty měření stupnice digitálního měřidla při kontrole rozměrů A



Obr. 9.4 Závislost nejistoty měření stupnice digitálního měřidla při kontrole rozměrů B



Vyhodnocení výsledků měření kalibrace digitálního měřidla při měření kontrolní měrky

V rámci vyhodnocení nejistot měření digitálního měřidla při měření kontrolní měrky musela být provedena kontrola tvarové části měřidla, rozměrů 20 mm a kontrola úhlů tvarových částí měřidla i měrky. Tyto kroky byly provedeny mimo rozsah akreditace. Smyslem bylo ověřit, zda rozměry odpovídají výrobním tolerancím dle výrobních výkresů. Z naměřených a vypočtených hodnot uvedených v příloze č.3 bylo prokázáno, že rozměry splňují podmínky předepsaných tolerancí.

Vlastní ověření základních rozměrů kontrolní měrky bylo provedeno z série opakovaných měření rozměrů **C** a **D** dle obr.9.2. Ze získaných hodnot uvedených v tab.9.5. byly podle použitého výpočtového algoritmu stanoveny rozšířené nejistoty pro 95 % rozložení pravděpodobnosti. Z vypočtených hodnot vyplývá.

- nejistota měření digitálního měřidla při měření rozměru **C** je **19 μm**, výsledek měření **C = (100,010 ± 0,019) mm**
- nejistota měření digitálního měřidla při měření rozměru **D** je **19 μm**, výsledek měření **D = (100,005 ± 0,019) mm**



10 Praktické ověření a zhodnocení návrhu

V rámci ověření návrhu měřidla byla podniknuta exkurse do firmy Krnovské opravny a strojírny s.r.o., která se zabývá opravami a renovacemi železničních kolejových vozidel. Na provoze oprav dvojkolí bylo měřidlo odzkoušeno při výměně nových obručí na opravené kotouče. Přístup měřidla k místu měření u obou komponentů je dobrý. Výrobní tolerance šířek rozměrů kontaktních ploch obručí i kotoučů se pohybují obvykle v intervalu do 0,3 mm. Měřidlo v tomto smyslu plně vyhovuje zaručené přesnosti, která je $\pm 0,05$ mm i při nižších resp. vyšších teplotách.

Hned při prvním měření byly oceněny především rozlišovací schopnosti měřidla, zaručující bezproblémový odečet hodnoty rozměru bez zanášení chyby paralaxe. Pozitivně bylo hodnoceno i řešení zajištění polohy rozměrů, prostřednictvím aretačního šroubu. Plně se projevíly vlastnosti funkcí vyhodnocovací jednotky, při kooperačním měření a přenášení získaného rozměru z kotouče na obruč. Celkový dojem z měřidla vyzněl pozitivně, nebyly shledány zásadní nedostatky.

10.1 Porovnání vlastností digitálního a analogového měřidla

Při podrobnějším studování vlastností digitálního a analogového měřidla bylo pozorováno jejich provedení, metodika měření a celkový dojem s prací měřidla. Na základě zjištěných skutečností byly sestaveny tab.10.1 a tab.10.2 vyzdvihující nebo kritizující jednotlivé vlastnosti měřidel.

Tab.10.1 Přednosti a nedostatky analogového měřidla

Analogové měřidlo	
Přednosti:	Nedostatky:
<ul style="list-style-type: none">- masivnější pojetí kontaktních částí měřidla zaručuje dobrou odolnost proti mechanickému poškození, odolnosti proti opotřebení- měřidlo umožňuje výměnu opotřebovaných částí za nové.	<ul style="list-style-type: none">- vůle v posuvné čelisti, způsobuje nepřesnost měření- matný vzhled zhoršuje vizuální vlastnosti při odečítání naměřené hodnoty,- aretační pružina se časem opotřebí, měřidlo nedrží získaný rozměr,- malá kontaktní plocha měřidla, pro kontrolní měření jmenovitého rozměru stupnice, zvyšuje pravděpodobnost chybného měření,- velké vodicí plochy na posuvnici bez přechodů mají za následek nestejnou vyvíjení tlaku při pohybu posuvné části, v poloze nejčastějšího používání se posuvnice vychodí,- není možné jemnější nastavování rozměrů,- při vyměnění pevné čelisti je vždy nutná úprava posuvnice zabroušením



Tab.10.2 Přednosti a nedostatky digitálního měřidla

Digitální měřidlo	
Přednosti:	Nedostatky:
<ul style="list-style-type: none">- sjednocení posuvné čelisti s pohyblivou částí (odstranění hlavního zdroje nepřesnosti měření),- vyhodnocení rozměru pomocí digitálního displaye, chyba odečtu eliminována,- zajištění polohy měření aretačním šroubem,- dostatečně velké kontaktní plochy pro ověření jmenovitého rozměru stupnice,- přechodové plochy na posuvnici zaručují rovnoměrný pohyb posuvné části při stálém vyvíjení tlaku,- přesné nastavování rozměru pomocí kolečka jemného stavění,- ukládání získaných rozměrů do paměti,- možnost propojení měřidla s počítačem (další práce s daty, korekce hodnot)	<ul style="list-style-type: none">- tloušťka pevné čelisti je menší, než u analogového měřidla (opotřebení se může projevit čase v závislosti na intenzitě používání měřidla),- při absolutním měření šířek kotoučů a obručí je nutné mít na paměti připočtení hodnoty +20 mm (vychází z konstrukce tvarové části, lze částečně korigovat nastavením výchozí hodnoty přes rozhraní počítače),

Z uvedených porovnání vyplývá, jakým způsobem se podařilo vyřešit konstrukční nedostatky analogového měřidla. Napříč těmito vylepšeními se objevily i drobné nedostatky u digitálního měřidla pramenící především z konstrukce měřidla před jeho úpravou.

Doporučení:

V případě, že by se v průběhu užívání měřidla prokázalo, že opotřebení kontaktních částí je intenzivnější, je jednou z možností ochrany povrchů aplikace ochranného povlaku, technologií PVD nebo zhotovení funkčních dotykových ploch s vložkami ze slinutého karbidu.

10.2 Ekonomické zhodnocení návrhu

Nákupní náklady

<u>Položka</u>	<u>Název zboží</u>	<u>Cena Kč</u>
1.	Dřevěná kazeta měřidla 300 x 130 x 35 mm	193,-
2.	Kontrolní měrka – příloha č.8 (kooperace)	1250,-
3.	Digitální posuvka 110 – 115DK	480,-
4.	Posuvná čelist – příloha č.7 (kooperace)	1123,-
5.	Plochá tyč P4 – 35 x 50	97,-
		<hr/>
		mezisoučet 3143,-



Výrobní náklady

<u>Položka</u>	<u>Název</u>	<u>Cena Kč</u>
1.	Demontáž měřidla 110 – 115DK, úprava ploch	490,-
2.	výroba měřidla seřízení a nastavení (včetně gravírování popisů) hodinová sazba 410 Kč, počet hodin 9,75 (410x 9,75= 3997,5 Kč)	3998,-
<i>mezisoučet</i>		4488,-

Náklady spojené s kalibračními službami

<u>Položka</u>	<u>Název</u>	<u>Cena Kč</u>
1.	kalibrace digitálního měřidla	160,-
2.	kalibrace kontrolní měrky	500,-
<i>mezisoučet</i>		660,-

Ostatní

1135,-

Cena kazety s digitálním měřidlem a kontrolní měrkou bez DPH 9425 Kč

Cena prodeje analogového měřidla se do roku 1993 pohybovala okolo 2890 Kčs. Podle kvalifikovaného odhadu jednoho z pracovníků výroby firmy Krnovské opravy a strojírný by výroba dnešního měřidla při zachování stávající technologie přišla v přepočtu na 13 000 až 13 500 Kč.



Závěr

V diplomové práci jsem se zabýval návrhem digitálního měřidla pro prokazování shody a přenášení rozměrů šířky kotoučů na obruče železničních kol v podmínkách firmy Unimetra s.r.o.

Na základě formulace požadavků návrhu nového měřidla jsem nastínil možné varianty řešení z hlediska konstrukce a výrobního postupu pro charakter kusové a sériové výroby měřidla. Z rozboru stavu současné situace na trhu s měřidly a důvodů, které byly již dříve uvedeny, jsem dospěl k rozhodnutí realizovat variantu kusové výroby měřidla. K této variantě řešení měřidla jsem zhotovil výkresovou dokumentaci včetně technologického postupu výroby. Firma Unimetra následně zajistila zhotovení prototypu měřidla.

V rámci ověření přesnosti jsem provedl kontrolní proměření měřidla v kalibrační laboratoři firmy, sestavil a vypočítal algoritmy nejistoty při kalibraci stupnice digitálního měřidla a kalibraci měřidla na základní rozměr kontrolní měrky. Z naměřených a vypočtených hodnot byly stanoveny nejistoty měření, které prokázaly, že měřidlo vyhovuje požadované přesnosti měření.

K měřidlu jsem následovně vypracoval technické dodací podmínky, zahrnující technické specifikace a základní návod pro používání.

Ve smyslu ověření návrhu měřidla jsem s pověřeným pracovníkem firmy Unimetra navštívil závod Krnovské opravny a strojírny s.r.o., kde jsem měl možnost prověřit vlastnosti navrhovaného měřidla v praxi. Bylo prokázáno, že měřidlo vyhovuje všem požadavkům z hlediska metodiky měření, zajištění polohy a vyhodnocení získaného rozměru s uvažovanou nepřesností. Z toho důvodu mohlo být měřidlo přijato do výrobního programu firmy. V závěru práce jsem provedl ekonomické zhodnocení realizace návrhu měřidla.



Seznam použité literatury

- [1] *Dvojkolí pro kolejová vozidla*. Praha, 1950. 262.s.
- [2] *TNŽ 28 2100 Kolejová vozidla.Dvojkolí.Názvosloví*. Praha: Vydavatelství ÚMN, 1985. 56 s.
- [3] *Bonatrans BONATRANS GROUP a.s.* [online]. 2009 [cit.2009-6-4]. URL<<http://www.bonatrans.cz/.html>>
- [4] *ČSD V99/1 Oprava dvojkolí železničních kolejových vozidel*. Olomouc: JERID, spol. s.r.o. 2000. 79 s.
- [5] *Technická specifikace pro interoperabilitu Subsystem: Kolejová vozidla Oblast působnosti: Nákladní vozy*. [online]. 2002 [cit.2002-30-5] URL<[http://isap.vlada.cz/Kopie/revize.nsf/616d10fff7882e6bc1256dc7002e1b63/9f51870202c95955c12572760035bec3/\\$FILE/32002D0735.pdf](http://isap.vlada.cz/Kopie/revize.nsf/616d10fff7882e6bc1256dc7002e1b63/9f51870202c95955c12572760035bec3/$FILE/32002D0735.pdf)>
- [6] *TNŽ 28 2121 Železniční vozidla kolejová. Šablony a měřidla dvojkolí. Technické požadavky a rozměry*. Praha: Vydavatelství ÚMN, 1990. 36 s.
- [7] *Speciální měřidla pro železniční kolejová vozidla. Krnovské opravny a strojírny*. [online]. 2008 [cit.2009-6-4] URL<<http://www.kos.cz/meridla.php>>
- [8] *Kolový profiloměr*. [online]. 2007 [cit.2009-6-4]. URL<<http://kzv.webseller.cz/cz/produkty/wheel/profilomer>>
- [9] *Riftek – Devices for inspection of rolling stock wheel sets* [online]. 2008 [cit.2009-6-4]. URL< <http://www.riftek.com/pages/kolpareng.htm>>
- [10] *Tecnogamma S.p.a.Web Site - Prodotti - Trasporto Ferroviario - Controllo Veicoli – WheelCheck.Sistema di misura profilo e usura ruote* [online]. 2009 [cit.2009-6-4]. URL< http://www.tecnoeuropa.it/products.asp?id=26&id_art=24>
- [11] *Pavouk*. [online]. 2007 [cit.2009-6-4]. URL< <http://kzv.webseller.cz/cz/produkty/wheel/pavouk>>
- [12] *Posuvná měřítko digitální*. [online]. 2008 [cit.2009-6-4]. <http://www.unimetra.cz/index.php?id=9&produkt=24>
- [13] *ČSN 41 7022.Ocel 17 022 chromová*. Praha: Český normalizační institut, 1976. 6 s.
- [14] *ČSN 41 4260.Ocel 14 260 Si- Cr*. Praha: Český normalizační institut, 1987. 12 s.
- [15] *TICHÁ, Šárka. Strojírenská metrologie - část 1*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava 2004. 104s. ISBN 80-248-0372-X.
- [16] *Dokument EA4/02 Vyjadřování nejistot měření při kalibracích*. Praha: Český institut pro akreditaci, 2001. 70 s.
- [17] *ČECH J.- PERNÍKÁŘ,J.- JANÍČEK,L. Strojírenská metrologie*. Brno: FSI - VUT Brno 1998. 189 s.ISBN 80-214-2252-1



Přílohy

Příloha č.1:	Vypočtené hodnoty nejistot při kalibraci stupnice digitálního měřidla rozměrů A a B
Příloha č.2:	Výsledky kalibrace rozměru D
Příloha č.3	Výsledky měření tvarové části měřidla, úhlových rozměrů kontrolní měrky
Příloha č.4	Kalibrační postup a výpočet nejistoty rozměrů G,H kontrolní měrky
Příloha č.5	Výkres sestavy analogového posuvného měřidla
Příloha č.6	Výrobní výkres pevné části
Příloha č.7	Výrobní výkres posuvné čelisti
Příloha č.8	Výrobní výkres kontrolní měrky
Příloha č.9	Výrobní výkres ploché tyče
Příloha č.10	Výrobní výkres úpravy posuvnice
Příloha č.11	Výrobní výkres úpravy posuvné části